



Mestrado em Engenharia Mecânica

Melhoria da Eficiência Energética do Sistema de Climatização de Uma Nave Industrial

Trabalho de projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica - Especialização em Projeto, Instalação e
Manutenção de Sistemas Térmicos

Autor

Carlos Frederico de Oliveira Otão

Orientador

Prof. Doutor Gilberto Cordeiro Vaz

Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Novembro de 2018

*“A genialidade é um por cento inspiração,
e noventa e nove por cento transpiração”*

Thomas A. Edson

AGRADECIMENTOS

Este trabalho final de mestrado representa o culminar de mais uma etapa de aprendizagem na minha vida, impossível de finalizar sem o apoio de um grupo de pessoas a quem passo a agradecer:

Ao meu orientador Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz pela constante disponibilidade, paciência e apoio para me orientar e transmitir todos os conhecimentos essenciais para concluir este projeto.

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra e ao Eng.º Pedro Miraldo, pela partilha de todos os conhecimentos fundamentais para a realização deste trabalho.

À empresa The Navigator Company, que através dos seus colaboradores Eng.º Pedro Matos Silva, Eng.º Pedro Coelho, Eng.º Cruz Silva, Eng.º Miguel Silva, António Serralheiro, Eng.º Rui Veríssimo, Eng.º Mário Dias, Joel, Vanessa Seco e em especial o Eng.º Miguel Teixeira, me possibilitaram a realização deste trabalho, fornecendo-me toda a informação necessária e esclarecendo-me todas as dúvidas que foram surgindo.

Ao Eng.º Nuno Campos Marinho da empresa CM&A, pela paciência e disponibilidade para me ouvir e esclarecer as minhas dúvidas, ao Eng.º Pedro Violante representante da empresa Kelvion, por me fornecer os dados técnicos das baterias de arrefecimento e ao Eng.º Fernando Esteves da empresa Sire por me facultar a informação do chiller.

Por fim e com especial carinho, a toda a minha família, que sempre me compreendeu e motivou para mais esta jornada, com um especial agradecimento à Carolina e à Sónia pelo apoio e compreensão do imenso tempo que não passei com elas.

RESUMO

Durante o Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo de Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos, no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, o aluno pode, no segundo ano, optar pela realização de um Projeto. Posto isto, este trabalho constitui-se como o documento final do referido mestrado e retrata um estudo sobre a implementação do sistema de Free Cooling numa nave industrial e o acompanhamento de um projeto com várias soluções de beneficiação do sistema de climatização, com problemas de subdimensionamento.

Tendo em conta a minha atividade profissional na empresa The Navigator Company, foi realizado um trabalho no âmbito do mestrado de forma a poder estabelecer uma ligação entre a realidade prática e os fundamentos teóricos adquiridos durante a parte letiva do mestrado.

O acompanhamento do projeto de beneficiação retrata um conjunto de atividades que foram introduzidas no sistema de climatização da nave por forma a solucionar um problema de stresse térmico, essencialmente em ambiente térmico quente. As condições térmicas anómalas oriundas de um sistema de climatização desajustado às atuais necessidades têm influencia no conforto térmico do trabalhador e na qualidade do produto, que exige determinadas especificidades, em termos de temperatura e humidade relativa.

As diversas soluções implementadas foram acompanhadas na sua execução e os resultados analisados por forma a avaliar a sua eficácia.

Na parte principal do trabalho foi realizado um estudo com ênfase na eficiência energética. Através da aplicação de um sistema economizador de free cooling foram avaliadas as possíveis poupanças tanto na vertente energética como financeira. A simulação da implementação do sistema economizador foi realizada com apoio de um software e de dados o mais próximo possível da realidade, de forma a obter informação fidedigna que permita ajudar uma futura decisão de implementação na empresa.

As principais competências gerais adquiridas foram a capacidade de compreensão de projetos de grandes dimensões na vertente prática e técnica, permitindo aplicar os conhecimentos teóricos às necessidades das diversas realidades.

Palavras-chave: Sistema de Climatização, Free Cooling, Nave Industrial, Projeto de Beneficiação, Stresse Térmico, Ambiente Térmico Quente.

ABSTRACT

During the Master's Degree in Mechanical Engineering, in the specialization area of Project, Installation and Maintenance of Thermal Systems, at the Institute of Engineering in Coimbra, students have the choice to make a Project on the second academic year. This study is a final document of this Master's Degree pertaining to the implementation of the Free Cooling System in an industrial field and it also monitors a project which covers several solutions to improve the air conditioning system in an industrial area with under sizing issues.

Taking into account my professional performance at The Navigator Company, a study has been made in the scope of this master's, in order to stablish a connection between the practical reality and the theoretical fundaments learned on the first academic year.

The follow-up of the benefit project depicts a set of activities that were introduced in the air conditioning system of the industrial area in order to solve a problem of thermal stresses, especially in a hot thermal environment. The inconsistent thermal conditions arising from an air conditioning system that is not adjusted to the current needs have an influence on the thermal comfort of the workers and on the quality of the product, which requires certain specificities with temperature and humidity.

The various solutions implemented were monitored in their execution and the results were analyzed, in order to establish a degree of effectiveness.

In the main part of this project, a study was carried out based on energy efficiency where a solution with energetic and economic benefits was presented. The simulation of the implementation of a free cooling economizer in the system was carried out with the support of software and data as close as possible to the reality, in order to obtain reliable information to help a future decision implementation.

The main general competences acquired in this study includes the ability to understand large projects in the practical and technical fields, all owing the application of theoretical knowledge to the needs of the different realities.

Keywords: Air Conditioning System, Free Cooling, Industrial Area, Beneficiation Project, Thermal Stress, Thermal Hot Environment.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xv
LISTA DE GRÁFICOS	xvii
ABREVIATURAS	xix
SIMBOLOGIA	xxi
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo e Enquadramento	1
1.2 Apresentação da Empresa	2
1.3 Ambientes Térmicos no Trabalho	5
CAPITULO 2 – SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	9
2.1 Descrição da Instalação Industrial	9
2.2 Caracterização do Sistema de Climatização	16
2.3 Melhorias Recentes do Sistema de Climatização	24
2.3.1 Chiller	26
2.3.2 Rede aerólica para sala de vácuo da Folio 3 e Folio 4	28
2.3.3 Baterias de arrefecimento	31
2.3.4 Permutadores nos backstands Folio 3 e Folio 4	33
2.4 Resultados	34
2.4.1 Temperatura	34
2.4.2 Humidade Relativa	42
CAPITULO 3 – ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DO FREE COOLING	51
3.1 Âmbito e Objetivo do Estudo	51
3.2 O Conceito Free Cooling	54
3.2.1 Etapas do Free Cooling	56
3.2.2 Tipos de Controlo do Free Cooling	58
3.3 Software Utilizado no Estudo	65
3.3.1 Condições Climatéricas	65
3.3.2 Propriedades da Nave Industrial	68

3.3.2 Propriedades do Sistema de Climatização	80
3.3.3 Resultados do software.....	87
3.4 Resultados.....	89
3.4 Resultados Globais	108
CAPITULO 4 – CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS.....	115
ANEXO A – Manual de Instalação e Manutenção do Chiller	115
ANEXO B – Planta da nova rede aerólica da sala de vácuo da FL3 e FL4.....	116
ANEXO C – Corte para o exterior da nova rede aerólica da FL3 e FL4	117
ANEXO D – Baterias de arrefecimento	118
ANEXO E – Permutadores de calor dos backstands da FL3 e FL4.....	119
ANEXO F – Ficheiro Excel com os cálculos anuais.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização do complexo industrial da Figueira da Foz (https://earth.google.com/web/)	2
Figura 1.2- PM2.....	3
Figura 1.3- Jumbos e bobines	4
Figura 1.4- Fábrica de papel (https://earth.google.com/web/) 1- nave mais antiga da transformação, 2- nave mais recente da transformação, 3- PM1, 4- PM2, 5- armazém final mais antigo, 6- armazém final mais recente.....	4
Figura 2.1 - Planta da secção de transformação_A.....	9
Figura 2.2 - Planta da secção de transformação_B	10
Figura 2.3- Circuito de ventilação da sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2	12
Figura 2.4- Acesso à sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2	12
Figura 2.5- Sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2	13
Figura 2.6- Circuito de ventilação da sala das bombas de vácuo da FL3 e FL4	13
Figura 2.7- Sala das bombas de vácuo da FL3 e FL4	13
Figura 2.8- Conduitas de sopragem da FL3	14
Figura 2.9- Fotografia termográfica das conduitas de sopragem da FL3	14
Figura 2.10- Fotografia termográfica dos equipamentos na sala das bombas de vácuo da FL3 e FL4	14
Figura 2.11- Sala do chiller e das bombas de recirculação	17
Figura 2.12- UTA	17
Figura 2.13- Redes Aerólicas	17
Figura 2.14- Ventilador	17
Figura 2.15- Torres de arrefecimento PM1	19
Figura 2.16- Circuito de água de arrefecimento do chiller	19
Figura 2.17- UTA	19
Figura 2.18- Sistema de filtros	19
Figura 2.19- Humidificadores	20
Figura 2.20- Sinalização de segurança UTA.....	20
Figura 2.21- Baterias de arrefecimento.....	20

Figura 2.22- Ventilador e sistema anti gota	20
Figura 2.23- Sonda do exterior	21
Figura 2.24- Sonda das Folio.....	21
Figura 2.25- Características das sondas	21
Figura 2.26- Digital System Control (DSC) da Transformação	22
Figura 2.27 - Planta do sistema de climatização	23
Figura 2.28 - Planta das UTA.....	24
Figura 2.29 – Montagem do Chiller_1	26
Figura 2.30 – Montagem do Chiller_2	26
Figura 2.31 – Carregamento do R134A	27
Figura 2.32 – Circuito da água de arrefecimento do condensador	27
Figura 2.33 – Características do Chiller.....	27
Figura 2.34 – Evaporador do Chiller	27
Figura 2.35 - Bombas de circulação	27
Figura 2.36 – Menu do Chiller	27
Figura 2.37 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_1	28
Figura 2.38 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_2	28
Figura 2.39 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_3	29
Figura 2.40 - Conduta antiga da FL3 e FL4	29
Figura 2.41 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_1	29
Figura 2.42 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_4	29
Figura 2.43- Extração da conduta antiga da FL3 e FL4.....	29
Figura 2.44 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_2	29
Figura 2.45 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_3	30
Figura 2.46 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_4	30
Figura 2.47 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_6	30
Figura 2.48 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_5	30
Figura 2.49 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_5	30
Figura 2.50 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_6	30
Figura 2.51 - Módulo da bateria_1	31
Figura 2.52 - Módulo da bateria_2	31

Figura 2.53- Chapa de identificação dos módulos.....	31
Figura 2.54 - Módulo da bateria antiga.....	31
Figura 2.55 – Montagem dos módulos da bateria_1.....	32
Figura 2.56 – Montagem dos módulos da bateria_3.....	32
Figura 2.57 – Montagem dos módulos da bateria_5.....	32
Figura 2.58 – Montagem dos módulos da bateria_2.....	32
Figura 2.59 – Montagem dos módulos da bateria_4.....	32
Figura 2.60 - Especificações de cada módulo	32
Figura 2.61 – Backstands da FL3 e FL4	33
Figura 2.62 – Permutadores dos Backstands_2.....	33
Figura 2.63 – Permutadores dos backstands_1.....	33
Figura 2.64 – Permutadores dos backstands_3.....	33
Figura 3.1 - Esquema da nave industrial com free cooling	51
Figura 3.2 - Componentes de um sistema de climatização com FC_A	55
Figura 3.3 - Componentes de um sistema de climatização com FC_B (Trane®,2006), 1- sensores de temperatura e humidade exteriores, 2- registo regulador do caudal de ar novo, 3- bateria de aquecimento/arrefecimento, 4- controlador, 5- registo regulador do caudal de ar de exaustão, 6- sensores de temperatura e humidade interiores, 7- registo regulador do caudal de ar de retorno, 8- sensores de temperatura e humidade de insuflação	55
Figura 3.4 - Esquema das quatro etapas do processo de FC (Marcos, 2012).....	56
Figura 3.5 - Área de poupança de energia pela utilização de FC (Marcos,2012)	57
Figura 3.6 - Regiões dos EUA e respetivas características climáticas (Trane®, 2006)	60
Figura 3.7 - Classificação Köppen-Geiger para o território Português (Instituto Português do Mar e da Atmosfera).....	61
Figura 3.8 - Classificação de Köppen-Geiger para o clima dos EUA (Peel, 2011)	62
Figura 3.9 - Diferenças na carta psicrométrica dos dois métodos (Honeywell, 2011)	63
Figura 3.10 - Aplicação CLIMAS-SCE (www.lneg.pt).....	65
Figura 3.11 - Validação do ficheiro com ano de referência no HAP.....	66
Figura 3.12 - Parâmetros de projeto nas propriedades climatéricas (HAP)	67
Figura 3.13 - Esquema das subzonas na nave industrial.....	68
Figura 3.14 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL 2_Quadro geral.....	69
Figura 3.15 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL 2_Cargas internas	70

Figura 3.16 - Horário das luzes	70
Figura 3.17 - Horário das máquinas FL1 e FL2	71
Figura 3.18 - Horário da ocupação das pessoas.....	71
Figura 3.19 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Paredes, janelas e portas	72
Figura 3.20 - Propriedades da janela.....	72
Figura 3.21 - Propriedades da parede	72
Figura 3.22 - Propriedades da porta.....	73
Figura 3.23 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Cobertura horizontal	73
Figura 3.24 - Propriedades da cobertura horizontal.....	73
Figura 3.25 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Piso	74
Figura 3.26 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Partições	74
Figura 3.27 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Cargas internas	76
Figura 3.28 - Horário das máquinas FL3 e FL4	76
Figura 3.29 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Paredes, janelas e portas	77
Figura 3.30 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Partições	77
Figura 3.31 - Propriedades da Nave Industrial das RW_Quadro geral.....	78
Figura 3.32 - Propriedades da Nave Industrial das RW_Cargas internas	79
Figura 3.33 - Horário das máquinas RW	79
Figura 3.34 - - Propriedades da Nave Industrial das RW_Partições	79
Figura 3.35- Propriedades do Sistema de Climatização_Quadro geral	80
Figura 3.36 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Ventilação ar exterior.....	81
Figura 3.37 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Humidificação	81
Figura 3.38 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Desumidificação.....	82
Figura 3.39- Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Central Arrefecimento	82
Figura 3.40 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Central Aquecimento	83
Figura 3.41 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Ventilador Insuflação.....	84

Figura 3.42 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Redes Aérolica	84
Figura 3.43 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Espaço	85
Figura 3.44 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Termoestatos	85
Figura 3.45 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Difusores	86
Figura 3.46 - Propriedades do Sistema de Climatização_Dados de Dimensionamento_Dimensionamento do Sistema.....	87
Figura 3.47 - Sumário do Dimensionamento do Sistema	88
Figura 3.48 - Simulação Horária de Resultados	89
Figura 3.49 - Diagrama Psicrométrico de 31/Jan (21h)	93
Figura 3.50 - Diagrama psicrométrico de 1/Outubro (20h)	100
Figura 3.51 - Diagrama Psicrométrico de 1/Junho (19h).....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Principais fontes de calor da FL1 e FL2	10
Quadro 2.2- Principais fontes de calor da FL3 e FL4.....	11
Quadro 2.3 - Registos de temperatura e HR em Fevereiro/2017_A	40
Quadro 2.4 – Registos de temperatura e HR em Fevereiro/2017_B	40
Quadro 3.1 - Tipos de controlo com respetivo clima e HLS (ASHRAE®, ANSI/ASHRAE/IESNA 09.1-2004)	58
Quadro 3.2 - Comparação entre 2 métodos aquisição de dados	64
Quadro 3.3 – Valor de referência da temperatura de bolbo seco extrema no inverno para Lisboa (Ashrae Handbook of Fundamentals,2017)	67
Quadro 3.4 – Propriedades construtivas e térmicas da nave na FL1 e FL2	69
Quadro 3.5 - Propriedades construtivas e térmicas da nave na FL3 e FL4	75
Quadro 3.6 - Propriedades construtivas e térmicas da nave nas RW	78
Quadro 3.7 – Exemplo dos consumos de Janeiro (consultar anexo F)	93
Quadro 3.8 – Poupanças de Janeiro	94
Quadro 3.9 – Horas de poupança de funcionamento do chiller em Janeiro	94
Quadro 3.10 – Exemplo dos consumos de Fevereiro (consultar anexo F)	95
Quadro 3.11 – Poupanças de Fevereiro.....	95
Quadro 3.12 – Exemplo dos consumos de Março (consultar anexo F)	96
Quadro 3.13 – Poupanças de Março	96
Quadro 3.14 – Exemplo dos Consumos de Abril (consultar anexo F)	97
Quadro 3.15 – Poupanças de Abril	97
Quadro 3.16 – Exemplo dos Consumos de Novembro (consultar anexo F)	98
Quadro 3.17 – Poupanças de Novembro.....	98
Quadro 3.18 – Exemplo dos consumos de Dezembro (consultar anexo F)	99
Quadro 3.19 – Poupanças de Dezembro	99
Quadro 3.20 – Exemplo dos consumos de Outubro (consultar anexo F)	101
Quadro 3.21 – Poupanças de Outubro	101
Quadro 3.22 – Exemplo dos consumos de Maio (consultar anexo F)	102
Quadro 3.23 – Poupanças de Maio	102

Quadro 3.24 – Exemplo dos consumos de Junho (consultar anexo F)	104
Quadro 3.25 – Poupanças de Junho	104
Quadro 3.26 – Exemplo dos consumos de Julho (consultar anexo F)	105
Quadro 3.27 – Poupanças de Julho	105
Quadro 3.28 – Exemplo dos consumos de Agosto (consultar anexo F)	106
Quadro 3.29 – Poupanças de Agosto	106
Quadro 3.30 – Exemplo dos consumos de Setembro (consultar anexo F)	107
Quadro 3.31 – Poupanças de Setembro	107
Quadro 3.32 - Resultados totais das Condições atuais, com 16% de ar novo	108
Quadro 3.33 - Resultados totais do Modo Poupança de Energia	109
Quadro 3.34 - Resultados totais do Modo Poupança Económica	109
Quadro 3.35 - Resultados totais das Horas de Poupança de funcionamento do Chiller	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - Alterações fisiológicas à exposição ao calor (WHO,1969).....	6
Gráfico 2.1- Gráfico de temperaturas da nave.....	15
Gráfico 2.2- Gráfico da humidade relativa da nave	16
Gráfico 2.3 – Condições de temperatura em Junho/2016	34
Gráfico 2.4 – Condições de temperatura em Julho/2016	35
Gráfico 2.5 – Condições de temperatura em Agosto/2016	35
Gráfico 2.6 – Condições de temperatura em Setembro/2016.....	36
Gráfico 2.7 – Condições de temperatura em Outubro/2016.....	36
Gráfico 2.8 – Condições de temperatura em Novembro/2016	37
Gráfico 2.9 – Condições de temperatura em Dezembro/2016	38
Gráfico 2.10 – Condições de temperatura em Janeiro/2017	38
Gráfico 2.11 – Condições de temperatura em Fevereiro/2017	39
Gráfico 2.12 – Condições de temperatura em Março/2017	41
Gráfico 2.13 – Condições de temperatura em Abril/2017	41
Gráfico 2.14 – Condições de temperatura em Maio/2017	42
Gráfico 2.15 - Condições de HR em Junho/2016	42
Gráfico 2.16 – Condições de HR em Julho/2016	43
Gráfico 2.17 - Condições de HR em Agosto/2016	43
Gráfico 2.18 - Condições de HR em Setembro/2016	44
Gráfico 2.19 - Condições de HR em Outubro/2016	44
Gráfico 2.20 - Condições de HR em Novembro/2016.....	45
Gráfico 2.21 - Condições de HR em Dezembro/2016	45
Gráfico 2.22 - Condições de HR em Janeiro/2017	46
Gráfico 2.23 - Condições de HR em Fevereiro/2017	47
Gráfico 2.24 - Condições de HR em Março/2017	47
Gráfico 2.25 - Condições de HR em Abril/2017	48
Gráfico 2.26 - Condições de HR em Maio/2017	48

ABREVIATURAS

ARCE	Acordos de Racionalização dos Consumos de Energia
CIE	Consumidoras Intensivas de Energia
CL	Máquina de corte de formatos cópia (A3 e A4)
CS	Máquina de corte de formatos com dimensões especiais
DCS	Controlo do sistema digital (digital control system)
EUA	Estados Unidos da América
FC	Free Cooling
FL	Máquina de corte de formatos gráficos (superior a A3)
HLS	High Limit Shutoff
HR	Humidade relativa
LED	Díodo Emissor de Luz
PM	Máquina de papel (paper machine)
PREn	Planos de Racionalização dos Consumos de Energia
PW	Máquina embalar paletes (palet wrapper)
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RW	Máquina enresmadoras (ream wrapper)
SGCIE	Sistemas de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SGE	Sistema de Gestão de Energia
UTA	Unidade de tratamento de ar
VAC	Volume de ar constante
VAV	Volume de ar variável

SIMBOLOGIA

kWh_{th}	Quilowatt-hora Térmico
MWh_{th}	Megawatt-hora Térmico
T_{bh}	Temperatura de Bolbo Húmido
T_{bs}	Temperatura de Bolbo Seco
TWh_{th}	Terawatt-hora Térmico
w	Humidade Absoluta

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo e Enquadramento

No âmbito do segundo ano do Mestrado de Engenharia Mecânica, na especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos, foi minha opção a realização de um Projeto com foco nas matérias estudadas envolvendo a empresa onde o aluno exerce a sua atividade profissional.

Posto isto, surgiu a possibilidade de acompanhar a implementação de um projeto de beneficiação do sistema de climatização de uma nave industrial subdimensionado, fruto de um crescimento da empresa e do desgaste inerente de alguns componentes do sistema.

Cada vez mais, o ambiente térmico é tido em conta como parâmetro essencial para o desempenho eficaz das tarefas pelo trabalhador, existindo uma relação direta entre o aumento da temperatura do espaço e a interferência na capacidade de concentração e no rendimento na execução das tarefas. Além disso, a secção de produção em causa obriga a especificidades em termos de valores de temperatura e humidade relativa tendo em conta a qualidade do produto. Valores fora da parametrização definida podem originar variações dimensionais e consequentes reclamações pelos clientes.

Perante este cenário, foram estudadas e propostas algumas soluções que, enquadradas no sistema existente, o tornarão eficaz e capaz de atingir os valores exigidos.

Este trabalho está estruturado inicialmente com a descrição e caracterização do sistema de climatização existente e as condições termo-higrométricas que proporciona. De seguida, são caracterizadas as soluções adotadas, realizado o respetivo acompanhamento da implementação e analisados os seus resultados.

No capítulo seguinte é elaborado um estudo com o foco na eficiência energética do sistema, que permite calcular o valor das poupanças energéticas e financeiras ao optar pelo free cooling no sistema de climatização da nave industrial. Numa época em que a sustentabilidade energética tem uma importância fulcral nas organizações, o resultado deste estudo poderá ser uma mais-valia para a empresa, uma vez que é uma simulação com valores muito próximos da realidade e permite obter uma ideia muito válida dos benefícios desta opção.

1.2 Apresentação da Empresa

A empresa The Navigator Company, marca herdeira do património do ex-grupo Portucel Soporcel, é uma empresa multinacional que se dedica à produção e comercialização de papel.

Com cerca de 3% das exportações nacionais de bens e líder europeu na produção de papéis finos de impressão e escrita, não revestidos, a The Navigator Company subdivide-se por quatro polos industriais em Portugal (Vila Velha de Rodão, Cacia, Setúbal e Figueira da Foz).

A instalação em estudo situa-se no complexo industrial da Figueira da Foz, em Lavos, concelho da Figueira da Foz, distrito de Coimbra conforme a figura 1.1. Esta empresa iniciou a sua laboração em 1984 com a construção de uma máquina de pasta de papel, após o sucesso confirmado expandiu-se para a produção de papel com a construção de duas máquinas, a PM1 e PM2 (figura 1.2), em 1991 e 2000 respetivamente.

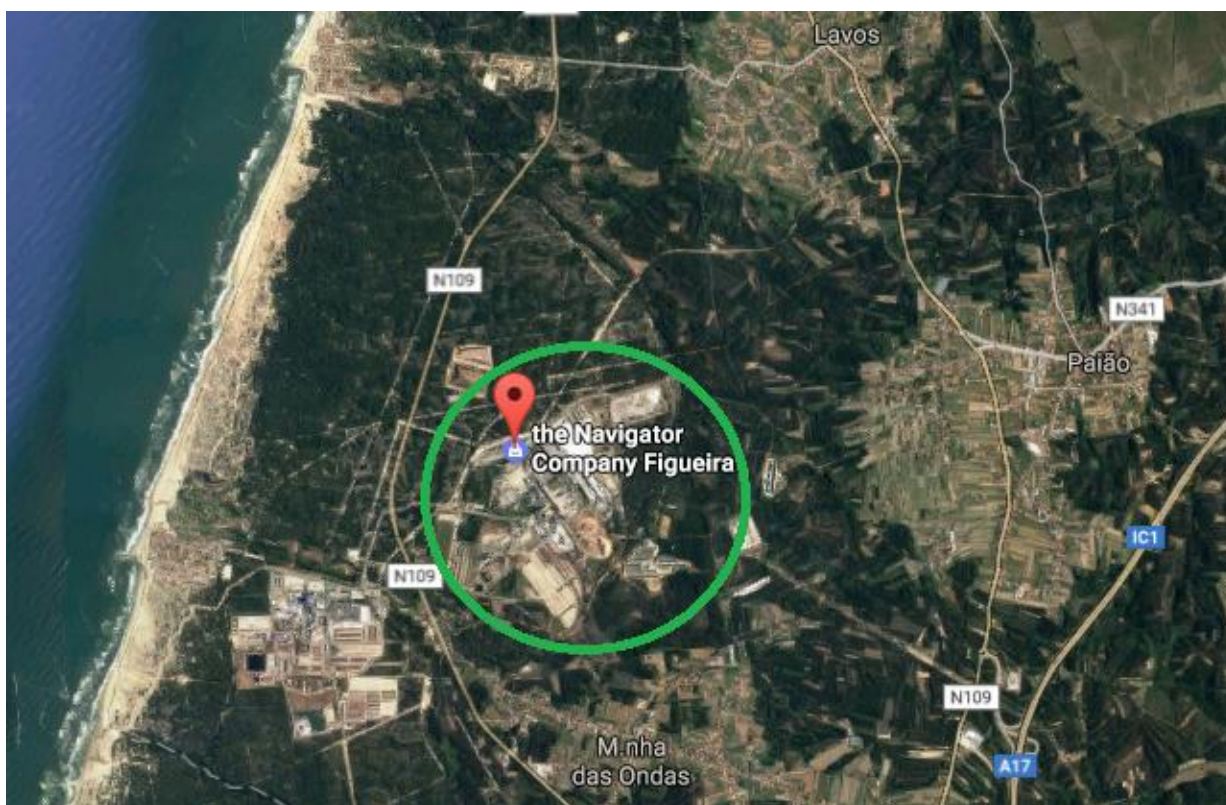


Figura 1.1 - Localização do complexo industrial da Figueira da Foz (<https://earth.google.com/web/>)

A nave industrial em estudo encontra-se na zona de produção de papel, referida na figura 1.4, que consiste em duas máquinas de papel dispostas paralelamente que recebem a pasta através de condutas e num processo essencialmente de secagem a transformam em papel.

Esse papel é enrolado num veio com 9 m de largura e 40 toneladas de peso, designado por “Jumbo” (figura 1.3).

Posteriormente estes “jumbos” são cortados em bobinas de várias larguras de acordo com o seu uso final. Estas bobinas são enviadas para o armazém final para venda ao cliente ou são armazenadas em dois armazéns de processo para serem reprocessadas na secção de transformação.

A secção de transformação encontra-se dividida em duas naves conforme o tipo de produto produzido. A primeira nave, mais antiga, destina-se à produção de papel do segmento gráfico offset, para todos os formatos de dimensões superiores ao formato A3, constituída por quatro cortadoras, Folio 1,2,3 e 4 (FL1,2,3 e 4) e quatro máquinas enresmadoras de resmas, Ream wrapper 1,2,3 e 4 (RW1,2,3 e 4).

Na outra nave, mais recente, trata-se de toda a produção do segmento cópia, essencialmente formatos A4 e A3, constituída por cinco cortadoras, CL1,2,3,4 e 5, uma cortadora de formatos especiais, CS1, e sete embaladoras de paletes, Pallet Wrapper (PW 1 a 7) que acondicionam as paletes de toda a proteção necessária de forma a garantir a qualidade do produto até chegar ao cliente. O projeto do sistema de climatização insere-se na primeira nave mais antiga, que foi projetado para determinadas condições, no entanto devido ao crescimento da secção com instalação de novas máquinas, as condições alteraram-se tornando o sistema incapaz de alcançar os valores exigidos.



Figura 1.2- PM2



Figura 1.3- Jumbos e bobines



Figura 1.4- Fábrica de papel (<https://earth.google.com/web/>) 1- nave mais antiga da transformação, 2- nave mais recente da transformação, 3- PM1, 4- PM2, 5- armazém final mais antigo, 6- armazém final mais recente.

1.3 Ambientes Térmicos no Trabalho

É de todo o interesse fazer uma abordagem ao impacto que representa o ambiente térmico nos locais de trabalho para o trabalhador, para a empresa e para o país onde esta está sediada. Cada vez mais o ambiente térmico tem um papel fundamental na saúde e bem-estar do trabalhador, tendo em conta o tempo prolongado que se está encerrado dentro de edificações (Silva,2013).

Na Europa, a grande maioria das pessoas passa em média 90% do tempo dentro de edifícios, o que nos leva a concluir que uma parte significativa do Produto Interno Bruto é obtido por trabalhadores em edifícios industriais, administrativos e afins. Posto isto, é intuitivo fazer uma relação direta entre uma economia mais próspera e a importância de manter um clima interior adequado à boa produtividade dos seus trabalhadores.

Sendo esta uma área de importância significativa não é, no entanto, de fácil estudo, tendo em conta que além das inúmeras variáveis, do ponto de vista físico e fisiológico o ser humano interage com o meio ambiente sob a forma de um balanço térmico, mas não se consegue prever as respostas psicológicas inerentes à sensação térmica de conforto de cada indivíduo. Vários estudos foram realizados com a utilização de ferramentas para avaliação de respostas psicológicas, e a elaboração de várias escalas que sendo aceites internacionalmente carecem de uma fiabilidade global.

O homem é um animal homeotérmico, de sangue quente que, para sobreviver necessita de manter a temperatura interna do corpo dentro de determinados limites a uma temperatura aproximada de 37 °C, obrigando-o a uma procura constante do equilíbrio térmico. Quando existe a perceção psicológica desse equilíbrio, pode-se falar em conforto térmico, que é de acordo com a ISO 7730 (2005), um estado de espírito que traduz satisfação com o ambiente térmico (Silva,2013).

Consoante o esforço necessário para manter esse equilíbrio podem surgir três situações distintas:

- Conforto Térmico, ou seja, a ausência de esforço significativo para manter a temperatura corporal.
- Desconforto Térmico, em situações em que é necessário um esforço reduzido.
- Tensão Térmica, quando o esforço é bastante significativo, podendo interferir com a capacidade de concentração e no rendimento do trabalhador.
- Stress Térmico, situações em que o sistema termorregulador pode não ser suficiente para manter o equilíbrio da temperatura corporal, pondo em risco a saúde do trabalhador devendo limitar o tempo de exposição a esse ambiente.

A influência da temperatura ambiente nos índices de produtividade, bem como na taxa de acidentes e consequências para a saúde humana, estão bem fundamentadas em diversos estudos na área do stress térmico, contudo, nem todos os autores são consensuais em relação à delimitação da zona de conforto, originando dificuldades em provar as razões causa-efeito com o índice de produtividade.

Apesar de estarem definidos pelo menos três intervalos de estudo nesta área, ambientes térmicos quentes, moderados e frios, vamos abordar o primeiro, visto ser este o que impera mais frequentemente na nossa nave industrial.

Quando o trabalhador se expõe a temperaturas excessivas, o calor cedido pelo organismo para o meio ambiente é menor que o recebido, o que leva ao aumento de temperatura e a desencadear os mecanismos de defesa face a hipertermia (Silva,2013), numa primeira fase a vasodilatação e aumento do ritmo cardíaco e de seguida a ativação da glândulas sudoríparas com o consequente aumento da taxa de sudação conforme representado no gráfico 1.1.

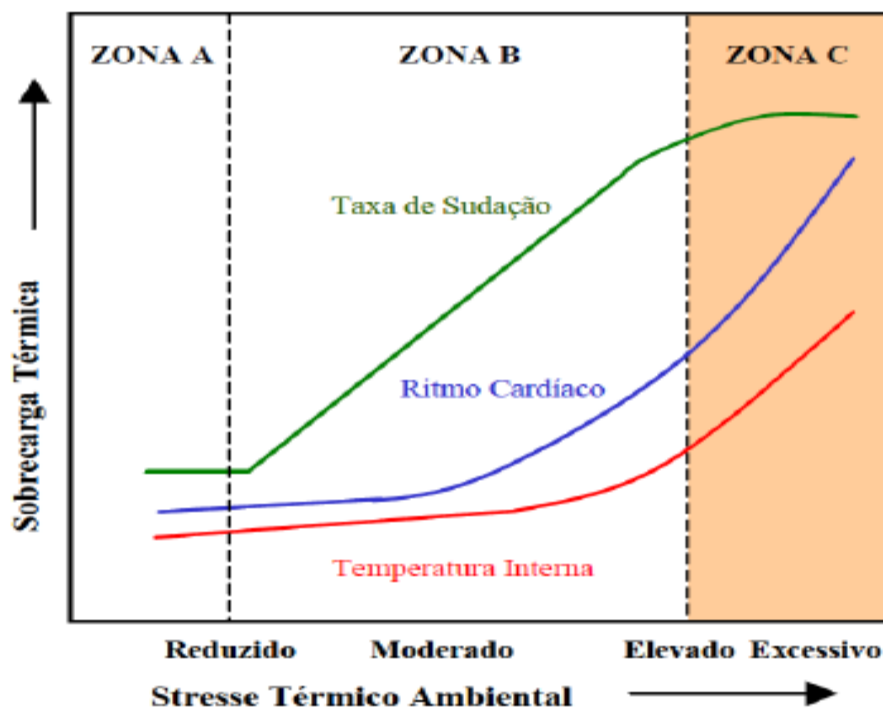


Gráfico 1.1 - Alterações fisiológicas à exposição ao calor (WHO,1969)

A divergente exposição extrema ao calor não implica uma detioração lenta e paulatina de nenhuma função vital, não se conhecem doenças profissionais, mas as consequências surgem subitamente como se tratassem de acidentes biológicos, tal como, quando somos confrontados com o desmaio de um trabalhador nas proximidades de um forno de uma fundição.

Podemos concluir que, áreas de trabalho com ambientes cujas condições de temperatura estejam inadequadas, provocam alterações no trabalhador que podem ser divididas em três tipos:

- Alterações sistémicas: exaustão por calor, golpe de calor, síncope de calor, desidratação, câimbras;
- Alterações cutâneas: erupções cutâneas e queimaduras, esgotamento por depleção de sais, anidrose;
- Transtornos psíquicos: fadiga crónica leve por calor, perda aguda do controlo emocional;

Se nas duas primeiras classificações pode ser perceptível com alguma facilidade as suas consequências, na última essa facilidade não existe levando à progressão dos seus sintomas. Segundo Hélder Silva, no seu livro *Ambiente Térmico e Ventilação*, a fadiga crónica leve por calor é um estado de incomodidade e tensão mental ou sociológica causada por uma exposição prolongada ao calor. Os trabalhadores que não estão acostumados ao calor encontram-se especialmente vulneráveis e podem sofrer graus distintos de diminuição de rendimento, de coordenação e da sua capacidade de estar à alerta. A severidade da fadiga crónica leve diminuirá com o período de adaptação ao ambiente quente (aclimação ao calor). O prolongar desta situação poderá conduzir ao aparecimento de outros problemas nomeadamente transtornos psiconeuróticos, perda de força, deficiência respiratória, entre outros (Silva, 2013).

No nosso caso em estudo existem condicionantes da temperatura e da humidade relativa (HR) tendo em conta garantia da qualidade do produto. A temperatura e a HR são fatores climáticos que provocam uma dinâmica de contração e alongamento dos elementos que compõem o papel. De forma a respeitar as tolerâncias dimensionais exigidas de 1mm, a temperatura e a HR terá de ter uma variabilidade reduzida em torno do set point de 23°C e 50% respetivamente.

CAPITULO 2 – SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

2.1 Descrição da Instalação Industrial

Conforme anteriormente descrito, a primeira máquina de papel (PM1) arrancou no ano de 1991 com uma secção de transformação constituída por uma cortadora de formatos A3/A4 (CL1), duas cortadoras de formatos designados por gráficos, isto é formatos de dimensões superiores ao A3 (FL1 e FL2), duas enresmadoras (RW1 e RW2) e três paletizadoras (PW1, PW2 e PW3). Todo o projeto de climatização desta nave com aproximadamente 10.000 m² foi dimensionado mediante estas fontes de emissão de calor, com especial relevo para as duas Folio, de forma a atingir a eficácia dos 23°C de temperatura interior e HR inferior a 50% durante todo o ano.

Contudo, com a ampliação da fábrica no ano de 2000 e a construção de uma segunda máquina de papel (PM2), a secção de transformação foi ampliada e com isso novas fontes de calor surgiram no projeto de climatização inicial. Uma das soluções na reorganização da secção de transformação foi criar uma nova área específica para formatos cópia (A3 e A4) e a nave inicial ficaria com os formatos gráficos e os periféricos inerentes conforme as figuras 2.1 e 2.2.

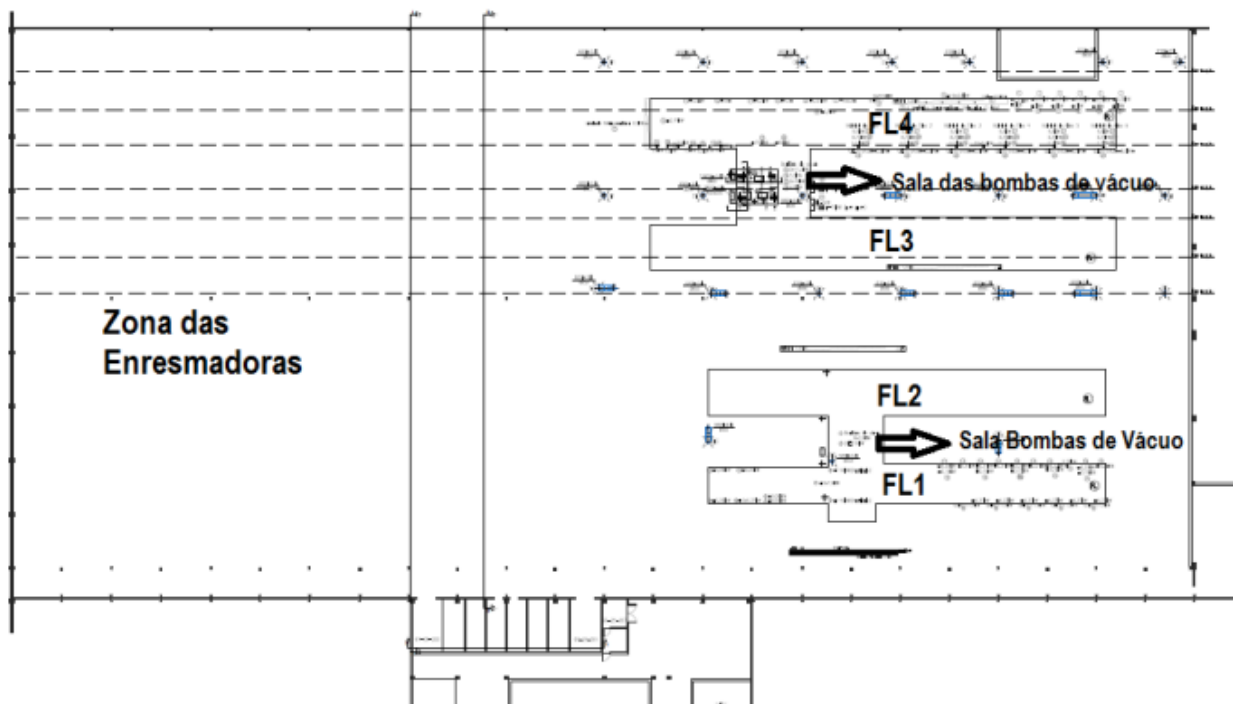


Figura 2.1 - Planta da secção de transformação_A

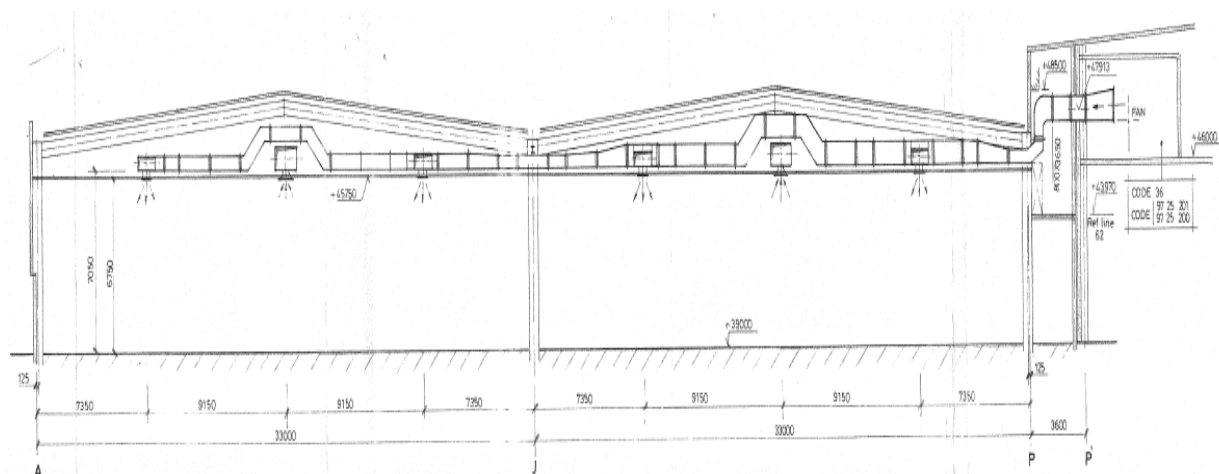


Figura 2.2 - Planta da secção de transformação_B

Posto isto, a nave inicial manteve a FL1 e FL2, as máquinas enresmadoras mas no local da CL1 foram montadas duas máquinas novas de formatos gráficos designadas por FL3 e FL4. Além do incremento de calor inerente da troca de uma fonte de emissão por duas, em termos de produção de energia calorífica, uma cortadora CL produz uma carga térmica muito inferior a uma cortadora Folio.

FÓLIO FL1 e FL2								
Num.	Equipamento	Quant.	Pot. Unitária (kW)	EM (Eficiência)	FUM (Factor de uso)	FLM (Factor de carga)	Pot. Térmica (kW)	Observações
1	Bombas de Vácuo	6	7,5	0,917	1	0,5	24,54	
2	Ventiladores	2	15	0,93	1	0,5	16,13	Injectam ar nos motores de 110Kw
3	Motor	2	110	0,958	0,9	0,08	16,53	
4	Quadros Eléctricos	2	430	1	1	0,0276	23,74	
5	Climat. QE's	2	3,35	1	1	1	6,70	
6	QE's	10	11,5	1	0,9	0,015	1,55	
7	Motores	4	7,5	0,917	0,9	0,8	23,56	
8	Motores	1	0,37	0,855	0,4	0,8	0,14	
9	Motores	1	0,09	0,855	0,4	0,8	0,03	
10	Motores	4	0,37	0,855	0,4	0,8	0,55	
11	Motores	2	0,25	0,855	0,4	0,8	0,19	
12	Motores	4	0,25	0,855	0,4	0,8	0,37	
13	Motores	20	0,37	0,855	0,4	0,8	2,77	
14	Motores	10	0,15	0,855	0,4	0,8	0,56	
						TOTAL	117,36	

Quadro 2.1 - Principais fontes de calor da FL1 e FL2

FÓLIO FL3 e FL4								
Num.	Equipamento	Quant.	Pot. Unitária (kW)	EM (Eficiência)	FUM (Factor de uso)	FLM (Factor de carga)	Pot. Térmica (kW)	Observações
1	Motores	12	0,37	0,855	0,4	0,8	1,66	
2	Motores	12	3	0,895	0,4	0,8	12,87	
3	Climat. QE's	8	3,3	1	1	1	26,40	
4	Quadro Eléctrico	2	400	1	1	0,0276	22,08	
5	Motores	24	2,2	0,895	0,4	0,8	18,88	
6	QE's	12	24,8	1	1	0,015	4,46	
7	Motor 5,6 A	8	2,816016	0,895	0,95	0,8	19,13	
8	Motores	2	0,5	0,855	0,4	0,8	0,37	
9	Motores	2	0,37	0,855	0,4	0,8	0,28	
10	Motor 4,3 A	2	2,162298	0,895	0,4	0,8	1,55	
11	Motor	4	5,5	0,91	0,4	0,8	7,74	
12	Motor 29 A	2	14,58294	0,936	0,4	0,8	9,97	
13	Climat. QE's 0,7	2	2,1	1	1	1	4,20	
14	Motores	2	0,77	0,855	0,4	0,8	0,58	
15	Motores	8	5,5	0,91	0,95	0,8	36,75	
16	Motores	6	7,5	0,917	0,4	0,8	15,70	
17	Motores	4	15	0,93	0,6	0,8	30,97	
18	Motores	2	0,37	0,855	0,4	0,8	0,28	
19	Motores	2	170	0,958	0,95	0,85	286,59	
20	Motores	2	50	0,95	0,95	0,85	85,00	
21	2 Chillers Socorro	2	51	1	0,2	1	20,40	
22	Qe's (24,8A+5,2KVA)	12	16,630928	1	1	0,015	2,99	
23	M.Bombas Vácuo	3	11,2	0,93	0,8	0,8	23,12	
24	M.Bombas Vácuo	1	5,5	0,91	1	0,8	4,84	
25	M.Bombas Vácuo	2	10	0,93	1	0,8	17,20	
26	M.Bombas Vácuo	1	4,6	0,91	1	0,8	4,04	Σ bombas vácuo= 49,2 kW (carga p/ exterior)
27	M.Bombas óleo	12	5,5	0,91	0,05	0,8	2,90	
28	M.Bombas óleo	12	0,75	0,855	1	0,8	8,42	
29	M.Bombas óleo	12	1,1	0,865	0,6	0,8	7,32	Σ bombas óleo= 18,64 kW
30	Motores	48	1,85	0,8	0,4	0,8	35,52	
						TOTAL	712,22	

Quadro 2.2- Principais fontes de calor da FL3 e FL4

Tendo em conta que neste tipo de máquinas, que abrange todo o tipo de dimensões do comprimento da folha entre um mínimo e um máximo estabelecido, o seu bloco de corte, que produz o comprimento da folha, é constituído por uma única lamina que efetua um corte por cada volta completa. A variabilidade das dimensões dos comprimentos é garantida pelo maior ou menor tempo de paragem entre cada corte, obrigando a um exaustivo pára-arranque do bloco com o inerente trabalho do motor associado e a respetiva produção de energia calorífica. A disparidade entre os valores na produção de calor das duas máquinas antigas para as duas mais recentes, resume-se a uma maior performance com velocidades mais elevadas e uma tecnologia com mais dez anos de evolução com um maior número de periféricos que melhoram as condições do operador mas refletem-se numa maior produção de calor (quadro 2.1 e quadro 2.2).

Por sua vez, qualquer máquina de formatos cópia A4 e A3, como só labora com uma dimensão de comprimento da folha, o seu processo de corte é constituído por um bloco cilíndrico com várias lâminas que distam entre si o comprimento do formato, ao qual a cada volta completa do bloco corresponde um determinado número de cortes. A velocidade de rotação do bloco depende unicamente da velocidade de laboração da máquina através de um movimento contínuo sem paragens constantes.

Este processo de funcionamento que dispensa o constante vencer do atrito estático, além de exigir menos esforço ao motor produz muito menos energia calorífica, pelo que, qualquer destas máquinas produz valores de calor muito inferiores aos da FL1 e FL2.

Outro foco relevante de produção de calor nas máquinas de formatos gráficos são as designadas salas das bombas de vácuo. Estes equipamentos na sua laboração necessitam de vácuo para fixar as folhas, de sopros de ar para as encaminhar e além disso como o arrefecimento dos motores dos blocos de corte da FL1 e FL2 é realizado com ar, tem de ser também garantido o fornecimento deste. No projeto inicial a sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2 (figura 2.5), constituídas pelas respetivas bombas de vácuo e pelos ventiladores necessários foram dimensionadas com um sistema de ventilação próprio, com um ventilador, uma UTA e uma rede aerólica independente do sistema de climatização central, que fornece ar novo à sala e após as trocas térmicas rejeita-o para o exterior conforme explicito nas figuras 2.3 e 2.4.

Contudo aquando da instalação das novas Folios, FL3 e FL4, a respetiva sala das bombas de vácuo (figura 2.7) não teve o mesmo tratamento, isto é, a sala continua a ser ventilada (figura 2.6) mas já não tem uma conduta própria, o ar é agora extraído da conduta principal, sofre as trocas termodinâmicas na sala e depois é injetado na nave. Este erro de projeto traduziu-se num enorme problema no sistema de climatização uma vez que, tratando-se de novas máquinas com exigências diferentes das que já existiam, a produção de calor é muito maior, com mais ventiladores e mais bombas de vácuo inerentes ao processo. Além disso, apesar do arrefecimento dos motores dos blocos de corte da FL3 e FL4 ser feito por ar e água, mesmo assim a produção de calor é muito grande originando uma incapacidade total de arrefecimento da sala o que origina a que os ventiladores extraíam ar quente da sala e injetem nas condutas das máquinas para ser também libertado na nave (figuras 2.8, 2.9 e 2.10).



Figura 2.3- Circuito de ventilação da sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2



Figura 2.4- Acesso à sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2



Figura 2.5- Sala das bombas de vácuo da FL1 e FL2



Figura 2.6- Circuito de ventilação da sala das bombas de vácuo da FL3 e FL4



Figura 2.7- Sala das bombas de vácuo da FL3 e FL4



Figura 2.8- Condutas de sopragem da FL3



Figura 2.9- Fotografia termográfica das condutas de sopragem da FL3

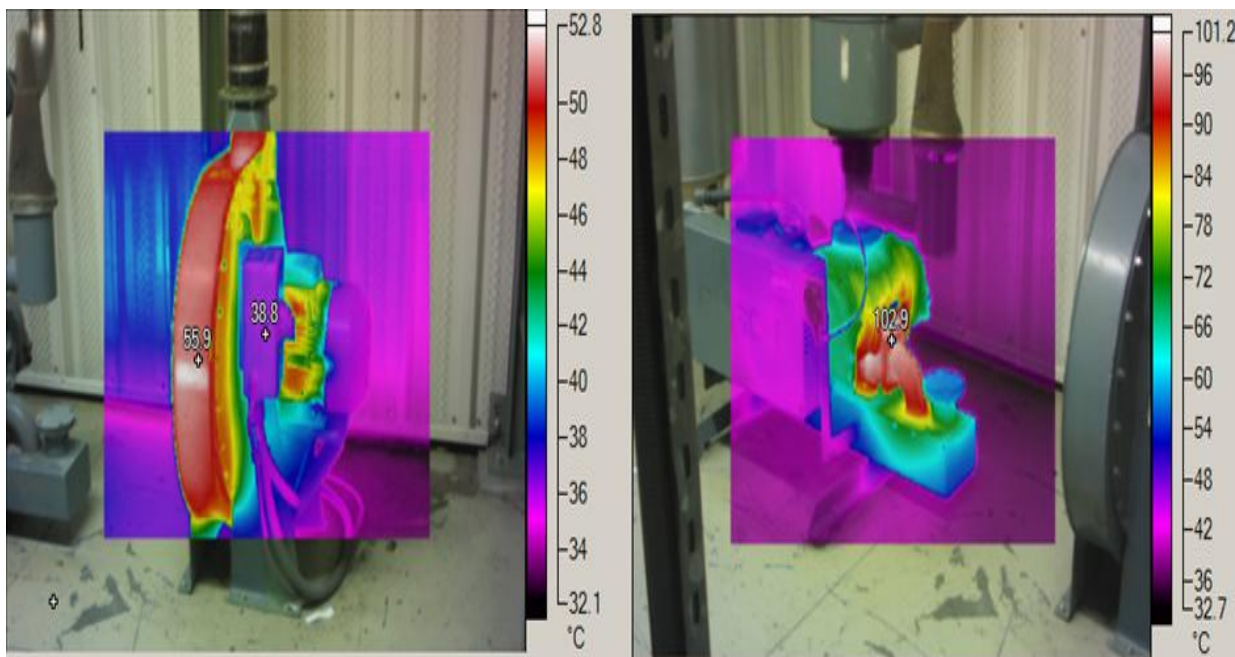


Figura 2.10- Fotografia termográfica dos equipamentos na sala das bombas de vácuuo da FL3 e FL4

Outro dos elementos que teve relevância na dificuldade do sistema de climatização em atingir o set-point exigido foi o chiller, que só conseguia debitar água com temperaturas na ordem dos 14°C, devido ao seu desgaste normal fruto dos seus anos de utilização, e da sua incapacidade de laborar a cem por cento, consequência de um caudal subdimensionado da água de arrefecimento do condensador, o que origina que nem todo o fluido de trabalho é condensado, logo reduz a capacidade do evaporador em absorver calor.

Por estas razões tornou-se imperativo tomar medidas que anulassem as disparidades existentes, tanto na temperatura como da humidade relativa, entre o set-point e as condições no interior da nave, tornando o sistema de climatização capaz de reagir às adversidades das condições climatéricas no exterior, e garantir um conforto térmico no ambiente de trabalho para os trabalhadores como é perceptível nos gráficos 2.1 e 2.2 para as respetivas variáveis.

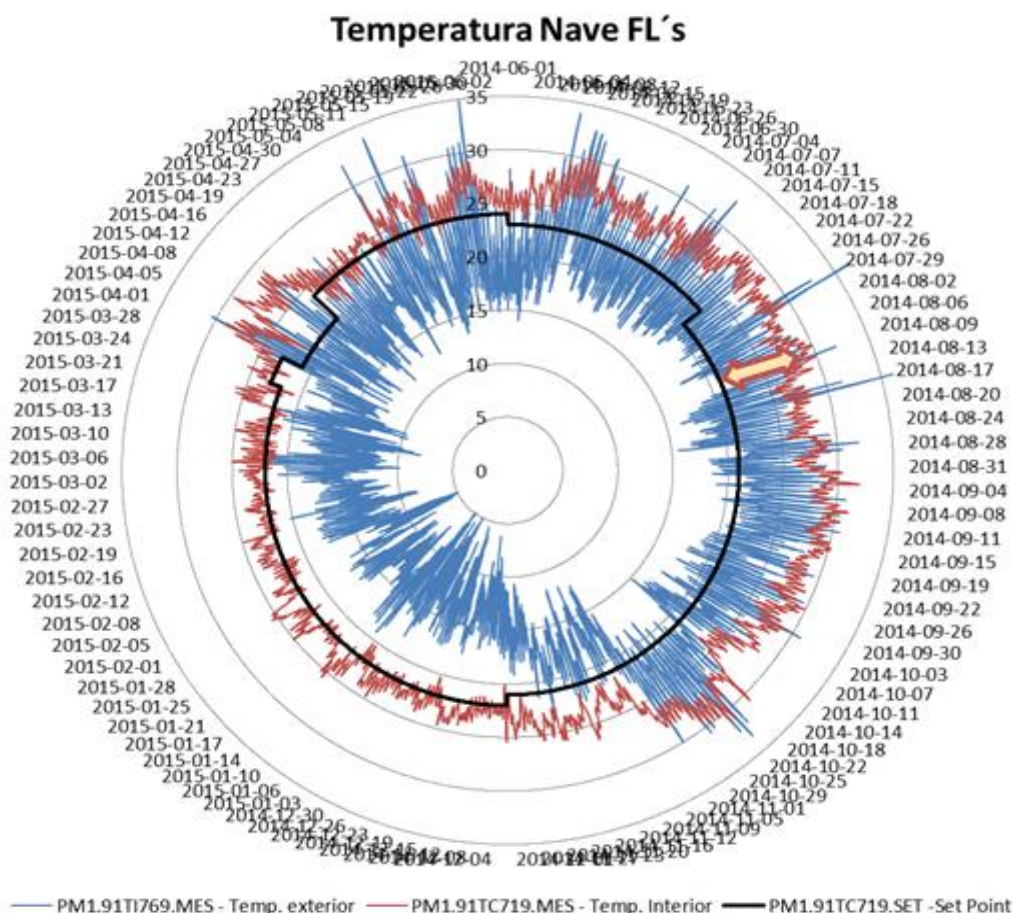


Gráfico 2.1- Gráfico de temperaturas da nave

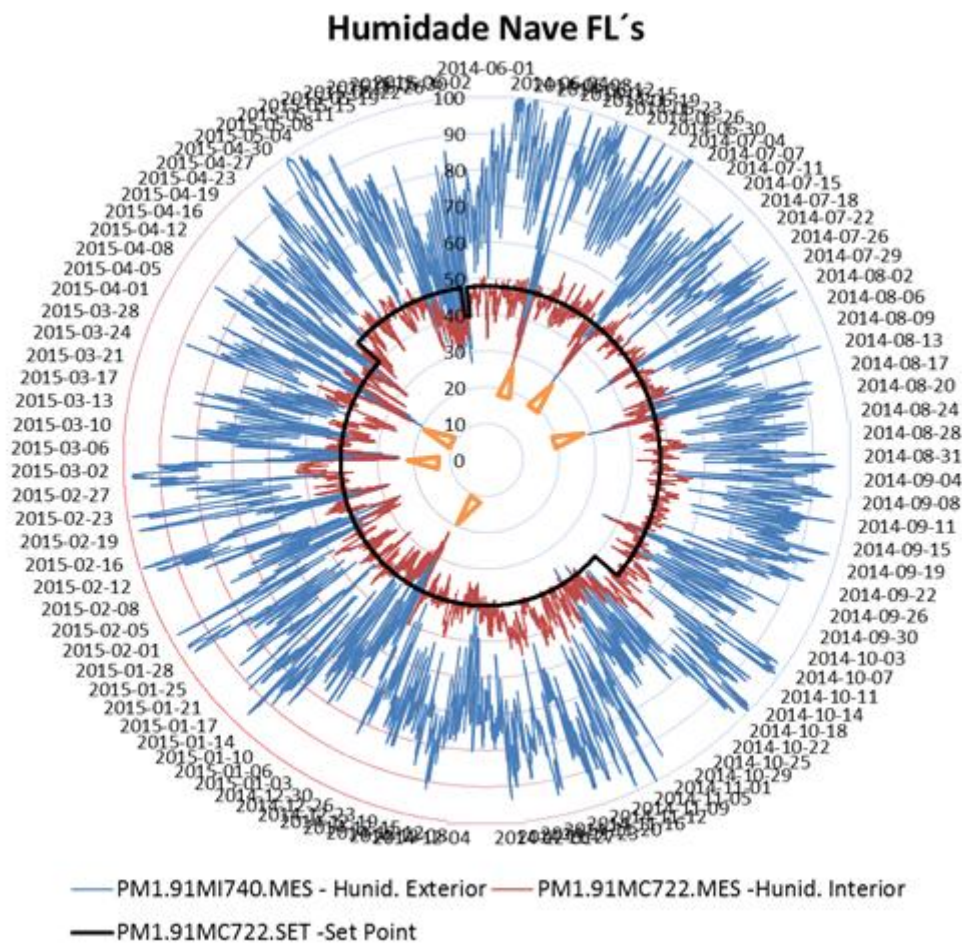


Gráfico 2.2- Gráfico da humidade relativa da nave

2.2 Caracterização do Sistema de Climatização

De uma forma a caracterizar os sistemas, existem diferentes formas de os agrupar mediante três parâmetros específicos:

- Em função da área a climatizar e do local onde se produz inicialmente o calor ou o frio, os sistemas podem ser caracterizados por sistemas centralizados, individuais ou semi-centralizados/modulares.
- Consoante o tipo de fluido térmico que está em contacto com o espaço a climatizar, os sistemas podem designar-se por tudo-ar, ar-água e tudo-água.

- O risco para a segurança dos ocupantes, tendo em conta a forma como as tubagens onde circula o fluido frigorigéneo contacta com as zonas ocupadas. Podem ser designados por sistemas diretos e indiretos.

Do ponto de vista do primeiro ponto, este sistema é designado por centralizado, tendo em conta que pretende atuar na totalidade da nave e é composto por um circuito primário, inserido numa zona técnica de acesso restrito ao pessoal responsável pela condução e manutenção do sistema (figura 2.11). A climatização dos locais é efetuada através do fluido térmico que circula no sistema secundário. O circuito primário é um circuito fechado de água, constituído por um chiller para produção de água gelada, por duas bombas circuladoras e pelas respetivas condutas hidráulicas. O circuito secundário é constituído pelas UTA (figura 2.12) para tratamento e trocas termodinâmicas do ar de insuflação, pelos respetivos ventiladores (figura 2.14) e pelas redes aerólicas (figura 2.13), de insuflação e de retorno.



Figura 2.11- Sala do chiller e das bombas de recirculação



Figura 2.12- UTA



Figura 2.13- Redes Aerólicas



Figura 2.14- Ventilador

Tendo em conta o tipo de fluido térmico que vai condicionar as características do ar da nave, este sistema é definido como tudo ar. O calor ou o frio é transportado para o local através do ar que foi previamente tratado, aquecido e/ou arrefecido numa unidade de tratamento de ar. Existem duas concepções base neste tipo de sistema tendo em conta a forma como o ar é transportado para a zona a climatizar, os de conduta simples, em que todo o ar a insuflar é enviado através de uma conduta principal, e os de conduta dupla, constituídos por uma de ar frio e outra de ar quente sendo a temperatura de insuflação ajustada mediante a sua mistura. O nosso objeto de estudo insere-se nos sistemas tudo ar de conduta simples com volume de ar constante (VAC), ou seja, os sistemas de conduta simples mais comuns são:

- Volume de Ar Constante (VAC)
- Volume de ar Variável (VAV)

No nosso caso o caudal de ar a fornecer é constante e o sistema permite variar as características termo-higrométricas do fluido de forma a garantir as condições pretendidas na nave em contraste com a outra solução em que a temperatura de insuflação é constante, variando o caudal mediante as necessidades de remoção da carga térmica existente. O retorno do ar à UTA é feito por uma conduta própria e existe a possibilidade de estabelecer diferentes percentagens de ar novo e ar de recirculação no sistema, de forma a melhorar a sua eficácia.

Por fim e tendo em conta o risco para os ocupantes, de um possível contacto com o fluido frigorigéneo fruto de uma eventual fuga/rutura na tubagem, os sistemas são classificados em diretos e indiretos. Os sistemas diretos, são aqueles em que a respetiva tubagem contacta com as zonas ocupadas, e os sistemas indiretos, são constituídos por um fluido primário que é o fluido frigorigéneo e um fluido secundário que percorre as zonas ocupadas, em suma, em caso de acidente com um fluido frigorigéneo halogenado, a zona de contaminação resume-se à zona técnica de acesso limitado, salvaguardando danos nos restantes ocupantes.

O nosso sistema insere-se nos indiretos, em que a presença do fluido frigorigéneo, R134a, resume-se à sala do chiller, munida de todas as medidas exigidas para combate de um possível acidente, extinguindo assim qualquer contaminação dos trabalhadores.

Após a caracterização teórica do nosso sistema, é de salientar algumas considerações importantes para o equilíbrio e eficaz funcionamento do sistema. Tendo em conta que a performance do ciclo de refrigeração do nosso chiller depende em muito, da capacidade do condensador libertar energia calorífica, condensando o máximo de fluido frigorigéneo para este poder voltar a absorver energia calorífica no evaporador, este processo é realizado com auxílio da água e das torres de arrefecimento. Através de um circuito hidráulico de água de arrefecimento fechado (figura 2.16), ligado a duas torres de arrefecimento de convecção forçada (figura 2.15) a condensação do nosso fluido de trabalho é eficaz, garantido a produção de água gelada (7 a 10°C) para realizar trocas térmicas com o ar de insuflação.



Figura 2.15- Torres de arrefecimento PM1



Figura 2.16- Circuito de água de arrefecimento do chiller

Outro componente importante no sistema são as UTA mostradas nas figuras 2.17 e 2.20 e os respetivos componentes, por forma a tratar e condicionar o ar da nave face as necessidades exigidas. Esta nave industrial é constituída por duas redes aerólicas principais, que cobrem metade do espaço cada uma, mais duas redes aerólicas menos imponentes, que atuam sobre dois focos de calor críticos inerentes ao processo, que posteriormente será abordado mais detalhadamente. Cada uma destas redes aerólicas é constituída por uma UTA com a seguinte sequência de componentes, um grupo de filtragem inicial (figura 2.18), seguido uma bateria de arrefecimento alimentado com água gelada do chiller (figura 2.21), uma bateria de aquecimento, humidificadores (figura 2.19), sistema anti gota e o respetivo ventilador como retrata a figura 2.22.

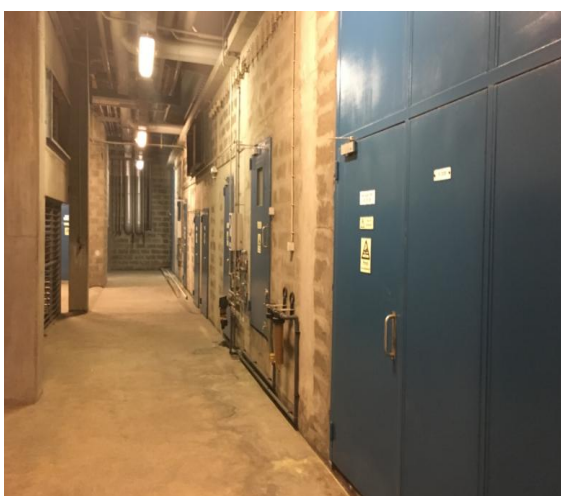


Figura 2.17- UTA



Figura 2.18- Sistema de filtros



Figura 2.19- Humidificadores



Figura 2.21- Baterias de arrefecimento



Figura 2.20- Sinalização de segurança UTA



Figura 2.22- Ventilador e sistema anti gota

Por fim, todo o sistema de climatização monitoriza os valores termo-higrométricos na nave e no exterior de forma a efetuar os respetivos ajustes mediante as necessidades. O sistema de controlo é realizado através de duas sondas termo higrométricas iguais às representadas na figura 2.25, colocadas na nave, uma na zona das máquinas enresmadoras e outra na zona das máquinas Folio (figura 2.24), e uma colocada na zona de admissão de ar novo que monitoriza as condições exteriores (figura 2.23). Através desta monitorização ligada a um Digital System Control (DSC) referido na figura 2.26, o sistema deteta as necessidades na nave e ativa os equipamentos nas UTA por forma a estabelecer as alterações necessárias nas trocas térmicas, com o objetivo de alcançar os valores pretendidos.



Figura 2.23- Sonda do exterior

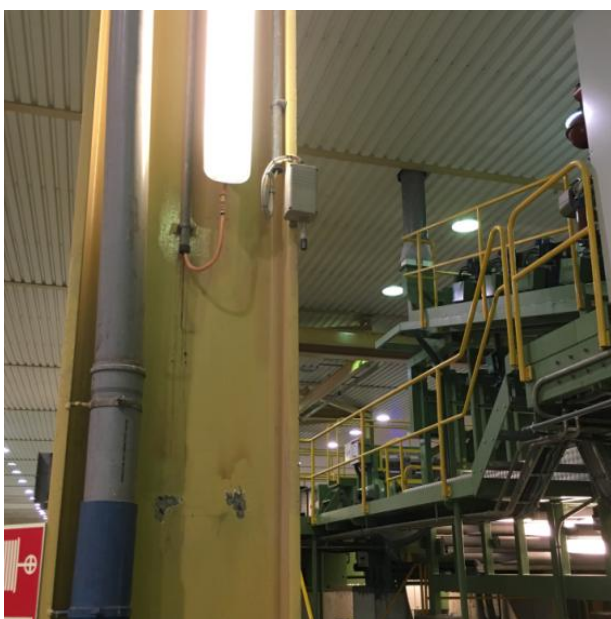


Figura 2.24- Sonda das Folio



Figura 2.25- Características das sondas

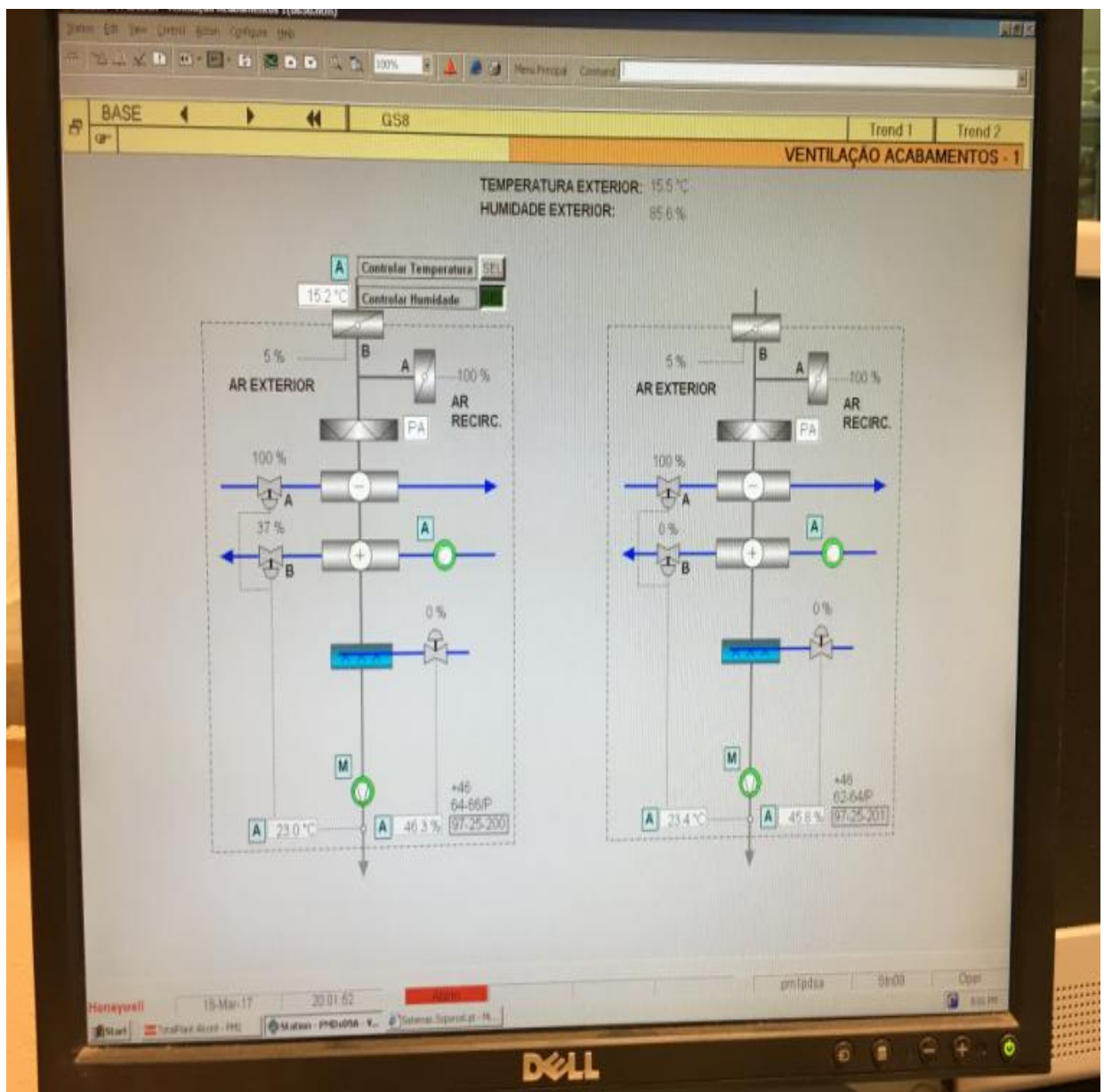


Figura 2.26- Digital System Control (DSC) da Transformação

Após a caracterização do nosso sistema de climatização podemos observar através da figura 2.27 um panorama geral da instalação e do percurso percorrido pelo ar de insuflação e pelo ar retorno assim como a composição das UTA inerentes ao sistema, na figura 2.28.

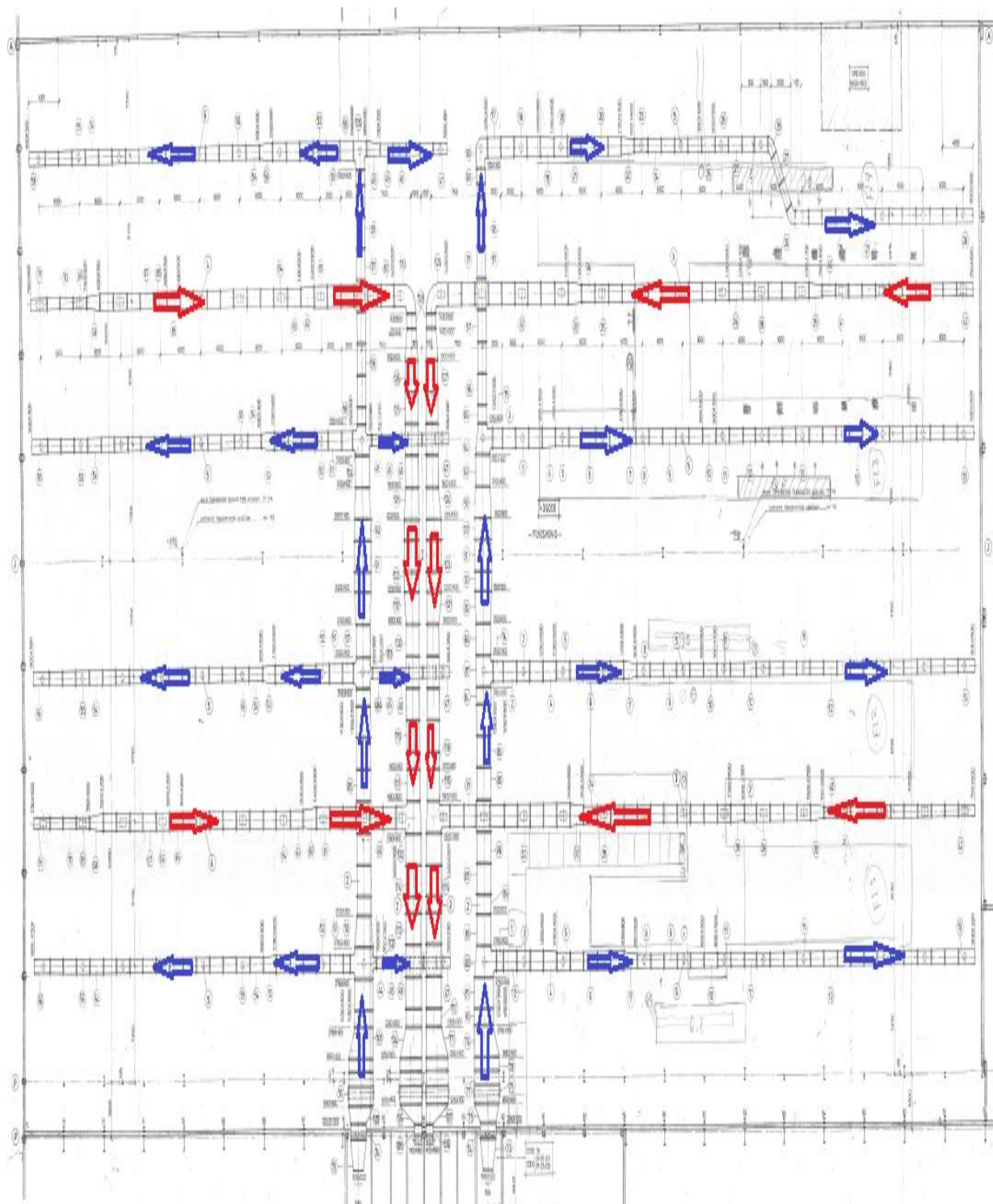


Figura 2.27 - Planta do sistema de climatização

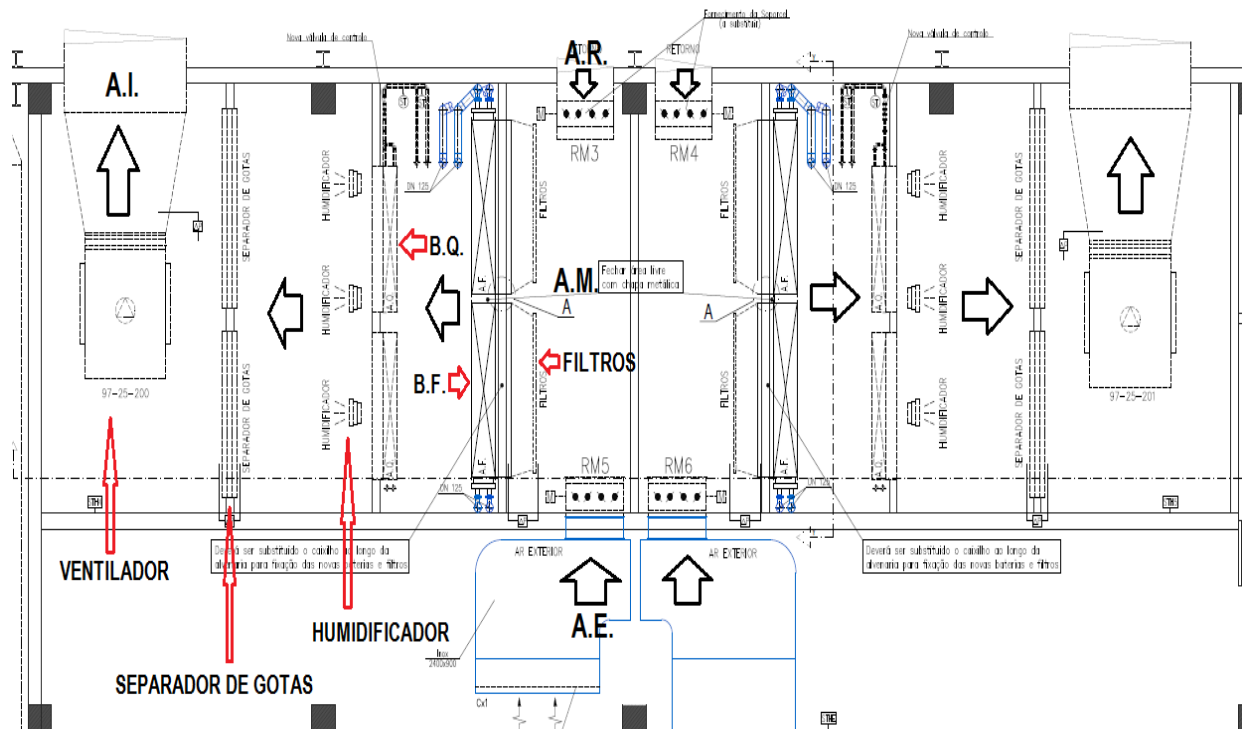


Figura 2.28 - Planta das UTA

2.3 Melhorias Recentes do Sistema de Climatização

Perante o registo das condições adversas, tanto para o trabalhador realizar as suas funções de forma segura, eficaz e eficiente, como para a garantia da qualidade intrínseca ao produto, foram estudadas medidas que se enquadrassem no panorama já existente e simultaneamente resolvessem as disparidades existentes nas condições termo-higrométricas da nave.

Do estudo em questão foram estabelecidas várias medidas que se subdividem em três tópicos distintos:

- Medidas que visam eliminar/diminuir a insuflação de cargas térmicas na nave
- Substituição de equipamentos
- Reorganização do Sistema de Climatização com o objetivo de o reequilibrar

No primeiro tópico foram criadas condições para que algumas fontes de calor deixassem de insuflar na nave, pelo que além de diminuir a carga térmica nave, simultaneamente reduz a potência de arrefecimento necessária. A primeira medida deste primeiro tópico foi estipular uma rede aerólica independente da rede principal, para proporcionar ventilação forçada à sala das bombas de vácuo das Folios 3 e 4, com insuflação de ar exterior e a sua respetiva exaustão.

A segunda medida foi a instalação de permutadores água/óleo nos backstands das Folios 3 e 4, por forma a anular/diminuir esta fonte de calor.

O segundo tópico tem a ver com a substituição de equipamentos subdimensionados e com um desgaste inerente que os impossibilita de produzir as condições necessárias ao bom funcionamento do sistema. A primeira medida deste segundo tópico foi a substituição do chiller existente por um novo com outra tecnologia, que garante a produção de água fria no mínimo a 9°C. Posteriormente procedeu-se à substituição das baterias de arrefecimento do ar nas UTA, alimentadas pela água do chiller, por umas novas dimensionadas à máxima capacidade que as centrais permitem.

Este estudo foi elaborado tendo em conta duas fases de atuação, uma primeira fase já a curto prazo, que engloba as medidas já descritas referentes aos dois primeiros tópicos, com o objetivo de mitigar as condições adversas e uma segunda fase, a médio prazo que complementa a primeira fase do estudo e engloba as medidas referentes ao terceiro tópico, ajustando o sistema já existente às novas condições da nave.

No terceiro tópico foram concebidas várias medidas que mediante à atual realidade da secção permite fazer face as disparidades existentes. Com esta nova realidade fruto de novas máquinas com cargas térmicas muito diferentes das que existiam, originou uma carga térmica muito ligeira nas condutas de ar tratado do lado esquerdo da nave, referentes às máquinas RW, ao passo que a conduta do lado direito referente às cortadoras Folios é extremamente fustigada com cargas térmicas elevadíssimas, essencialmente oriundas das novas Folios 3 e 4. Uma das medidas deste terceiro tópico trata-se de desviar algum do caudal de ar tratado na conduta referente ao lado esquerdo da nave para o lado direito através de um replaneamento da rede aerólica do sistema, por forma a insuflar cerca de 70% do ar tratado na zona das Folio, onde a carga térmica é mais elevada, e os restantes 30% na zona das RW, com carga térmica é muito menor.

Outra medida diz respeito à forma de insuflação e o tipo de insufladores utilizados, passando o ar a ser insuflado a 3 metros de altura em relação ao pavimento, ao invés dos atuais 7 metros, utilizando insufladores do tipo deslocamento e a insuflação passa a ser entre máquinas, ao contrário do que acontece atualmente, ou seja, por cima das máquinas.

Por fim foi abordado a possibilidade de dotar o sistema da função “free cooling” que além de economizar energia em determinados períodos do ano, seria uma boa solução para uma maior renovação de ar e para uma diminuição da pressão interior da nave, explicito na curva côncava dos portões plásticos da secção. Esta possibilidade não foi estudada detalhadamente nem implementada.

Na parte principal deste trabalho é abordado de forma aprofundada o “free cooling”, através de um estudo com apoio de um software, para condições semelhantes às existentes na nave e condições climáticas-tipo da região.

De seguida vão ser descritas as medidas implementadas, da primeira fase, já executadas e os respetivos resultados que daí advêm.

2.3.1 Chiller

Após medições no local, foi detetado a incapacidade dos 3 chillers da marca McQuay, existentes desde 1990 fazerem face às necessidades frigoríficas da nave. Tendo em conta o elevado grau de desgaste dos equipamentos existentes e a sua tecnologia já desatualizada, a empresa optou por substituir por um chiller novo com uma tecnologia recente assente em padrões de economia energética (figura 2.33). O novo chiller água-água da marca Sire representado nas figuras 2.29, 2.30, 2.31, 2.34 e 2.36 é composto por dois compressores de parafuso que perfazem dois circuitos refrigeração independentes, o que permite que mesmo com avaria num dos circuitos, o chiller funciona com metade da capacidade. Cada um destes circuitos pode funcionar na sua capacidade máxima ou a velocidades parciais, permitindo uma economia tanto energética como no desgaste do equipamento. O sistema de arrefecimento dos dois condensadores representado na figura 2.32 permanece igual ao dos antigos chillers, isto é, duas torres de arrefecimento e as bombas de circulação do circuito de água gelada (figura 2.35) também permanecem as que já existiam.



Figura 2.29 – Montagem do Chiller_1



Figura 2.30 – Montagem do Chiller_2



Figura 2.31 – Carregamento do R134A



Figura 2.34 – Evaporador do Chiller



Figura 2.32 – Circuito da água de arrefecimento do condensador



Figura 2.35 - Bombas de circulação



Figura 2.33 – Características do Chiller



Figura 2.36 – Menu do Chiller

2.3.2 Rede aerólica para sala de vácuo da Folio 3 e Folio 4

Contrariamente ao que foi projetado na primeira fase da secção, com a Folio 1 e 2, em que a sala das bombas de vácuo destas máquinas têm uma rede aerólica própria, independente da rede principal, com uma UTA independente que insufla ar do exterior para a sala, arrefece-o e volta a exauri-lo para o exterior, na segunda fase do projeto ao ser instaladas as Folio 3 e 4 não se procedeu da mesma forma, utilizando a rede aerólica principal para ventilar a sala das bombas de vácuo (figura 2.40). Este procedimento resultou numa sobrecarga térmica enorme para o sistema de climatização, uma vez que estas novas máquinas dissipam potências térmicas aproximadamente seis vezes superiores, em relação às máquinas antigas. A incapacidade do sistema de anular estas cargas térmicas, originou a que esta fonte de calor tivesse de ser tratada do mesma forma que a sua semelhante, Folio 1 e 2, com uma rede aerólica independente.

Perante o cenário já existente, foi reativada uma rede aerólica já existente que em tempos foi utilizada para climatizar um armazém atualmente inativo. A UTA foi sujeita a uma revisão e foram elaborados todos os ajustes necessários para que a ventilação forçada da sala das bombas de vácuo da Folio 3 e 4 fosse semelhante à da Folio 1 e 2. De seguida apresento um conjunto de figuras que elucidam a intervenção planeada na construção/adaptação da nova conduta (figuras 2.37, 2.38, 2.39, 2.41, 2.42, 2.43, 2.44, 2.45, 2.46, 2.47, 2.48, 2.49, 2.50).

Esta medida é de extrema importância, uma vez que além de dissipar cargas térmicas elevadas de uma fonte de calor grave, alivia a potência frigorífica necessária ao sistema de climatização, uma vez que as máquinas ao utilizarem ar oriundo da sala de vácuo, para encaminhar o papel, na sua maioria era ar quente que estava a ser insuflado na nave, aumentando a carga térmica desta.



Figura 2.37 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_1



Figura 2.38 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_2



Figura 2.39 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_3



Figura 2.42 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_4



Figura 2.40 - Conduta antiga da FL3 e FL4



Figura 2.43- Extração da conduta antiga da FL3 e FL4

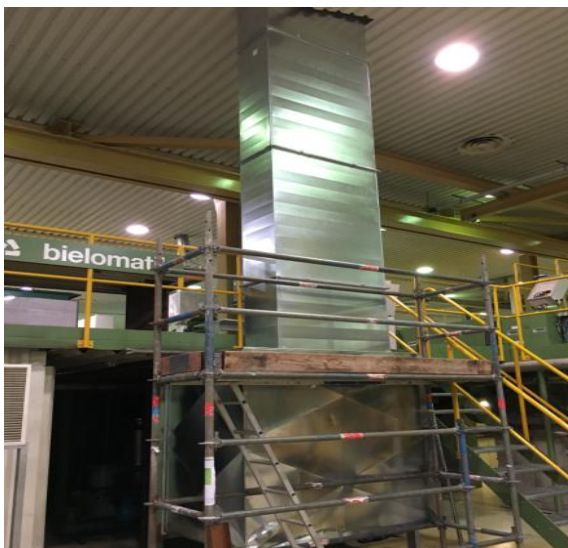


Figura 2.41 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_1



Figura 2.44 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_2



Figura 2.45 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_3



Figura 2.48 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_5



Figura 2.46 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_4



Figura 2.49 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_5



Figura 2.47 – Montagem da nova conduta da FL3 e FL4_6



Figura 2.50 – Montagem da rede aerólica da FL3 e FL4_6

2.3.3 Baterias de arrefecimento

Outra medida fulcral nesta primeira fase, foi a substituição das baterias de arrefecimento dimensionadas à máxima capacidade que as centrais permitem, de forma a garantir as necessidades atuais do sistema.

Após medições efetuadas em vários pontos dos quatro módulos que constituem a bateria de arrefecimento de cada UTA, concluiu-se que o sistema de climatização não possui capacidade de arrefecimento, para superar as necessidades térmicas da nave.

Posto isto, optou-se por substituir os quatro módulos de cada UTA, que constitui a bateria de arrefecimento por novos, dimensionados tendo em conta essencialmente o caudal de ar máximo possível a tratar, 126.000 m³/h por cada UTA e as dimensões possíveis existentes em obra. As baterias foram dimensionadas para uma potência frigorífica total de 670 kW (figura 2.60) para cada UTA, com uma espessura superior às antigas (figuras 2.51, 2.52 e 2.54), originando um aumento de circulação de ar pela bateria e o consequente aumento das trocas térmicas. De seguida são apresentadas uma sequencia de figuras que retrata vários momentos da montagem das novas baterias de arrefecimento (figuras 2.53, 2.55, 2.56, 2.57, 2.58 e 2.59).



Figura 2.51 - Módulo da bateria_1



Figura 2.53- Chapa de identificação dos módulos



Figura 2.52 - Módulo da bateria_2



Figura 2.54 - Módulo da bateria antiga



Figura 2.55 – Montagem dos módulos da bateria_1



Figura 2.58 – Montagem dos módulos da bateria_2



Figura 2.56 – Montagem dos módulos da bateria_3

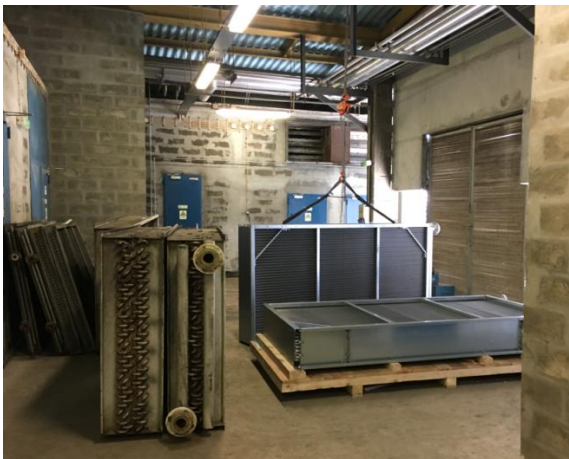


Figura 2.59 – Montagem dos módulos da bateria_4



Figura 2.57 – Montagem dos módulos da bateria_5

Características por permutador de calor		
Fluido	Ar	Água
Potência Térmica:	167,5 kW	
Caudal:	8,75 m3/s	28,9 m3/h
Temperatura de entrada:	24,5 °C	7,5 °C
Humidade à entrada:	10,0 g/kg	-
Temperatura de Saída:	12,5 °C	12,5 °C
Humidade à Saída:	8,3 g/kg	-
Perda de carga	11,4 mmca	0,40 bar
Caudal de condensados:	63 kg/h	-
Pressão de Trabalho:	-	4,0 barg

Figura 2.60 - Especificações de cada módulo

2.3.4 Permutadores nos backstands Folio 3 e Folio 4

A zona inicial de cada cortadora, designada por backstands (figura 2.61), é o local onde as bobinas são desenroladas para posterior corte nos respetivos formatos, ou seja, é uma área onde as diferentes travagens das bobinas, tendo em conta o seu tamanho e respetivo peso, para manter um comportamento linear das folhas, gera várias cargas térmicas.

No caso da Folio 3 e 4 todo este trabalho é garantido por doze unidades hidráulicas, uma por cada backstand, que arrefecem o óleo através de uma permuta com o ar da nave, aumento a sua carga térmica.

A solução passou por instalar doze permutadores óleo/água subtraindo assim esta carga térmica à nave (figuras 2.62, 2.63 e 2.64). Este conjunto de permutadores tem uma capacidade máxima de 200 kW e este processo fica com a particularidade de poder trabalhar em modo sazonal, ou seja, quando o sistema de climatização está em função de arrefecimento, permuta o calor com a água extraíndo-o da nave, enquanto no modo aquecimento permuta com a ar da nave, debitando o calor na nave.



Figura 2.61 – Backstands da FL3 e FL4



Figura 2.63 – Permutadores dos backstands_1



Figura 2.62 – Permutadores dos Backstands_2



Figura 2.64 – Permutadores dos backstands_3

2.4 Resultados

Perante a conclusão das medidas da primeira fase, foram avaliadas novamente as condições termo higrométricas da nave, a fim de auferir a eficácia das mesmas. Esta avaliação foi elaborada com base nos valores das seguintes sondas:

- PM1.91TI769 - Referente às condições da temperatura exterior
- PM1.91TC718 - Referente às condições da temperatura na área das RW
- PM1.91TC719 - Referente às condições da temperatura na área das FL
- PM1.91MI740 - Referente às condições da HR no exterior
- PM1.91MC715 - Referente às condições da HR na área das RW
- PM1.91MC722 – Referente às condições da HR na área das FL

Através destas sondas foram registados os valores hora a hora das duas variáveis, durante o período de um ano, do dia 1 de Junho de 2016 a 31 de Maio de 2017. Após o tratamento de dados, podemos avaliar a correlação entre as condições exteriores e interiores, o comportamento das duas variáveis em torno das condições de set-point, 23°C e 50% HR, e as suas variações antes e depois da implementação das medidas.

2.4.1 Temperatura

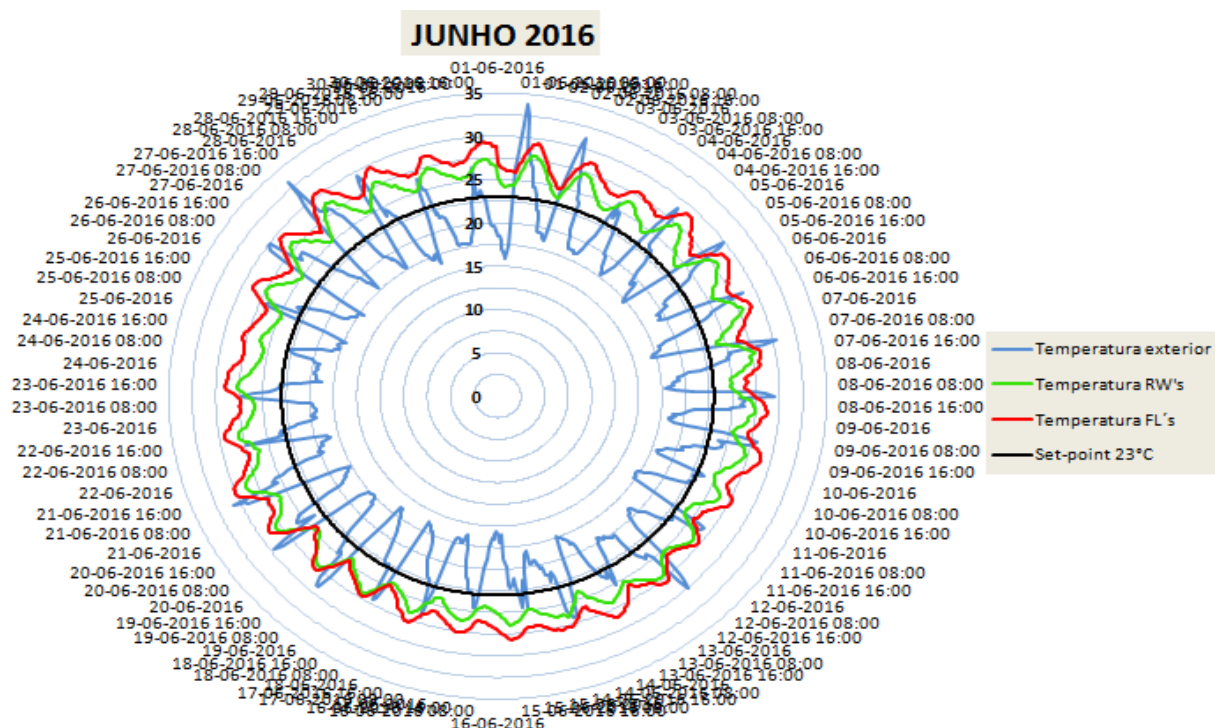


Gráfico 2.3 – Condições de temperatura em Junho/2016

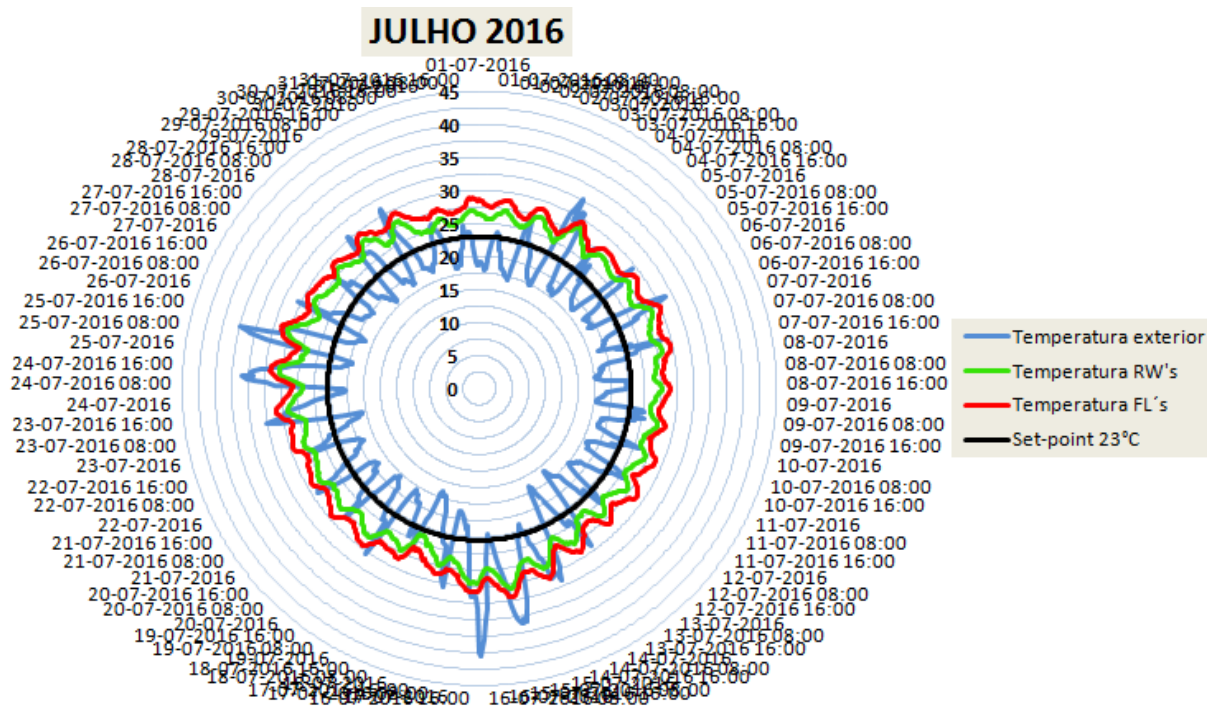


Gráfico 2.4 – Condições de temperatura em Julho/2016

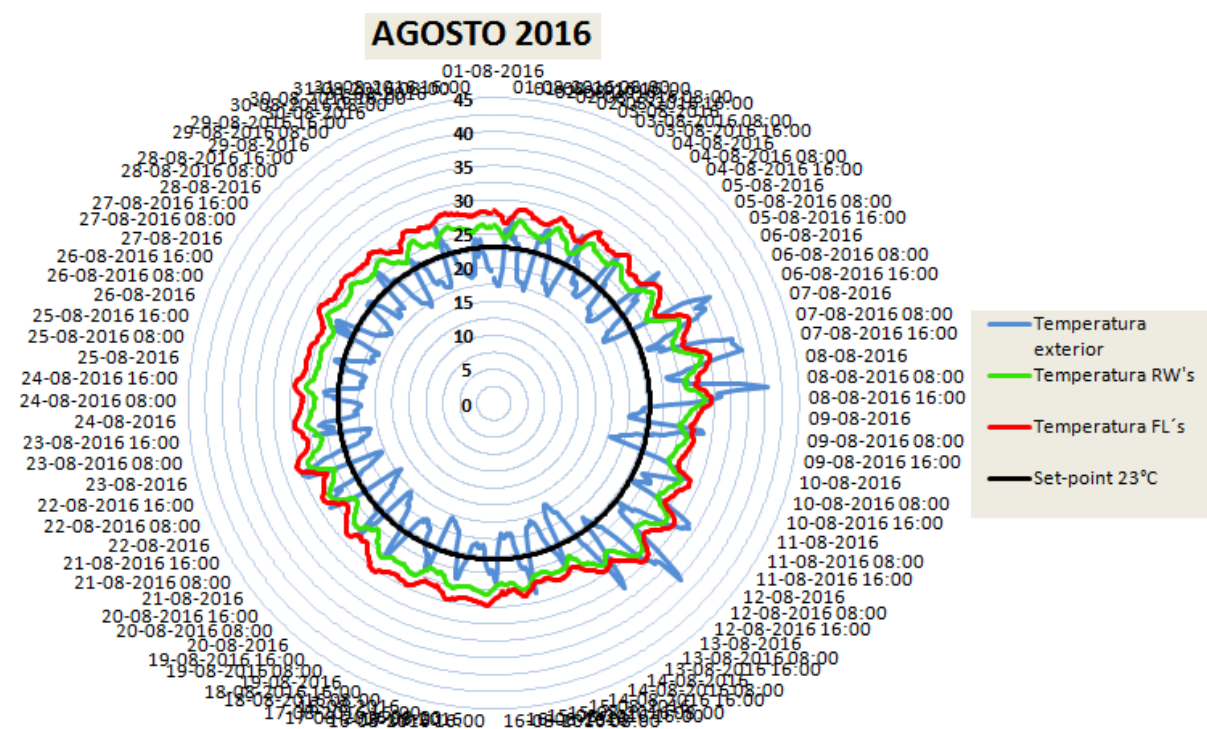


Gráfico 2.5 – Condições de temperatura em Agosto/2016

Nestes três primeiros gráficos (gráfico 2.3, 2.4 e 2.5) referentes aos meses de verão com grande amplitude de temperaturas, podemos observar que essa variabilidade também é refletida nas condições de temperatura no interior da nave. Outro facto comum aos três gráficos reside no facto de a temperatura ser superior na zona das Folio em relação à zona das RW, o que se justifica tendo em conta as diferentes cargas térmicas de cada zona, muito mais elevadas na zona das Folio.

Por fim podemos concluir que as condições térmicas dentro da nave estão sempre acima do set-point desejado, em vários momentos a atingir 30°C dentro da nave, 7°C acima dos 23°C pretendidos, ou seja, o sistema de climatização é incapaz retirar o calor excessivo no recinto.

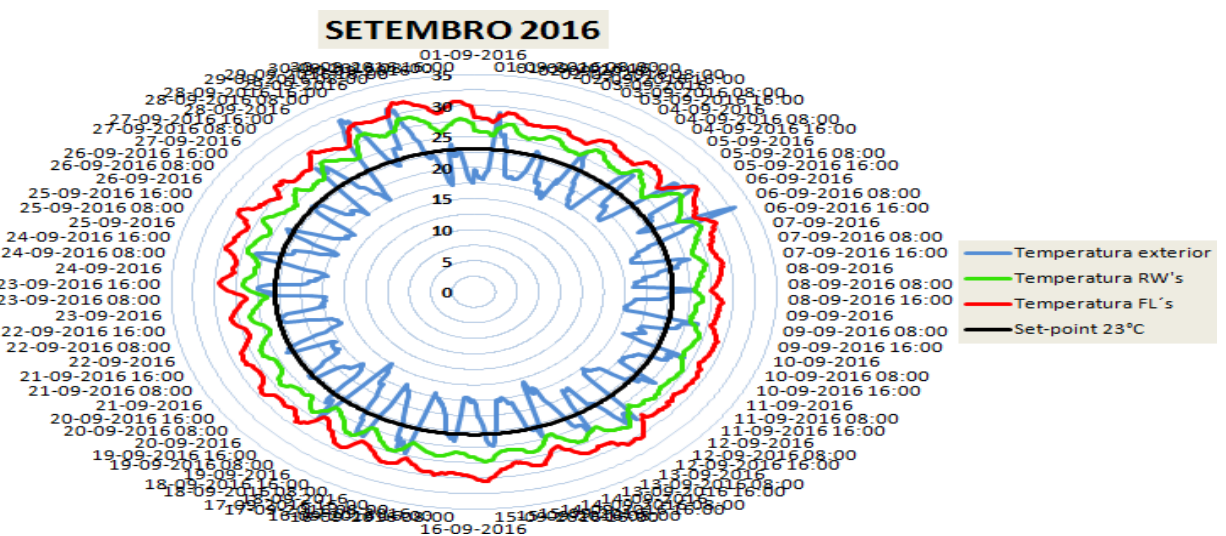


Gráfico 2.6 – Condições de temperatura em Setembro/2016

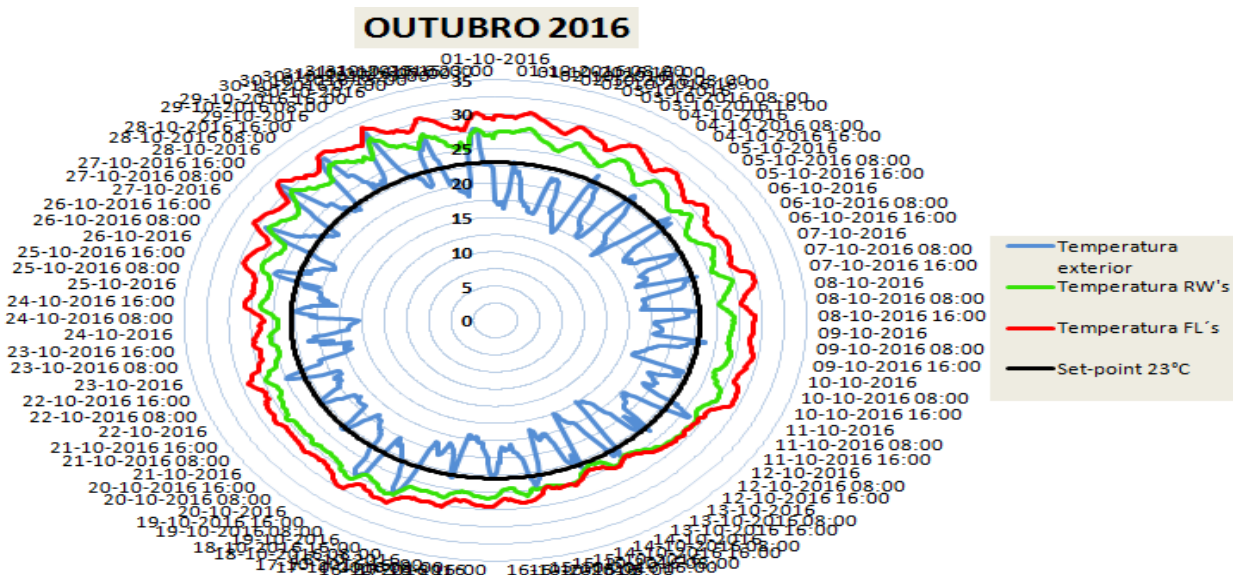


Gráfico 2.7 – Condições de temperatura em Outubro/2016

Durante os meses referidos nos gráficos 2.6 e 2.7 caracterizados com menos picos de temperatura que os meses de verão, já são visíveis períodos em que as linhas de temperatura das condições interiores têm poucas oscilações, comportando-se de forma mais linear, no entanto permanece com valores acima do set-point e com diferenciação entre as duas zonas.

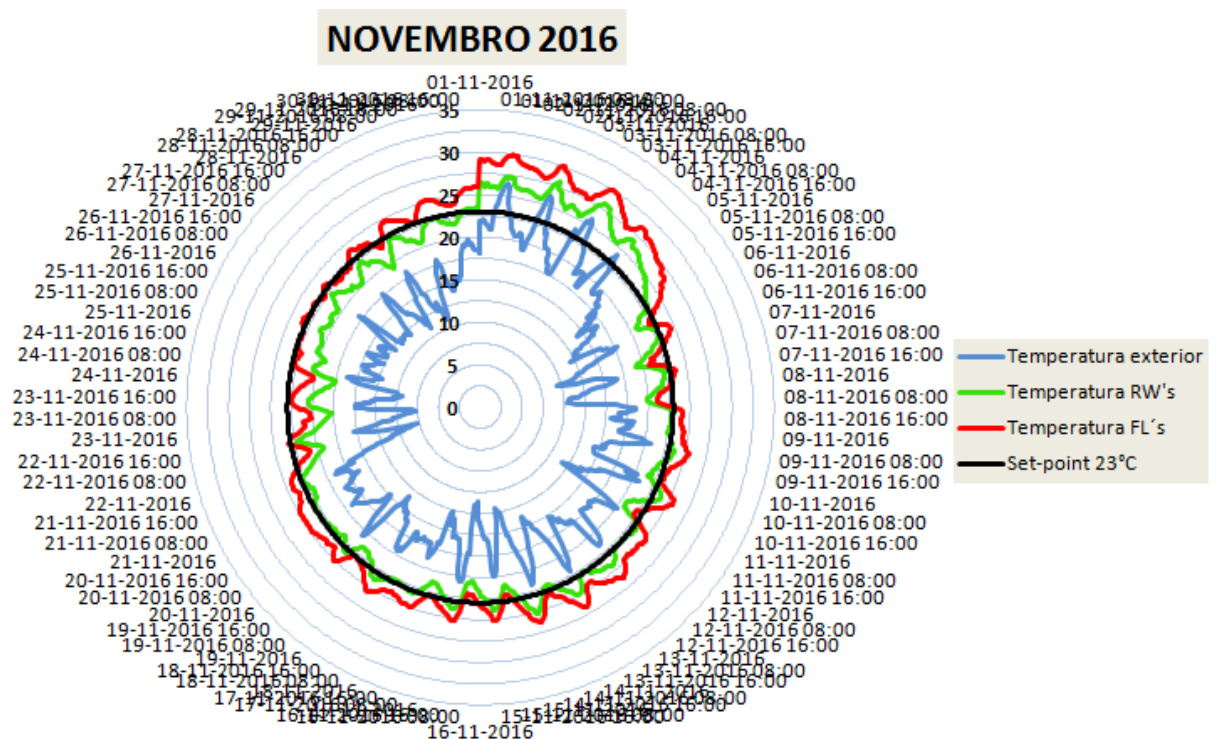
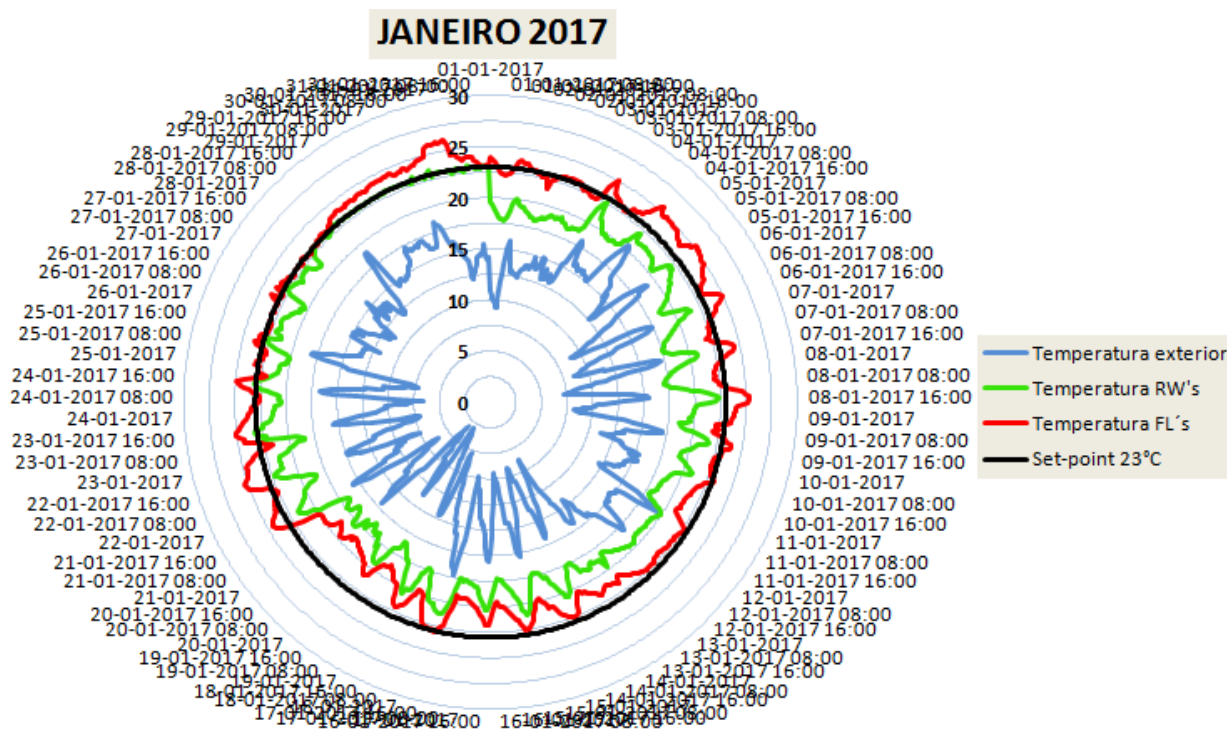
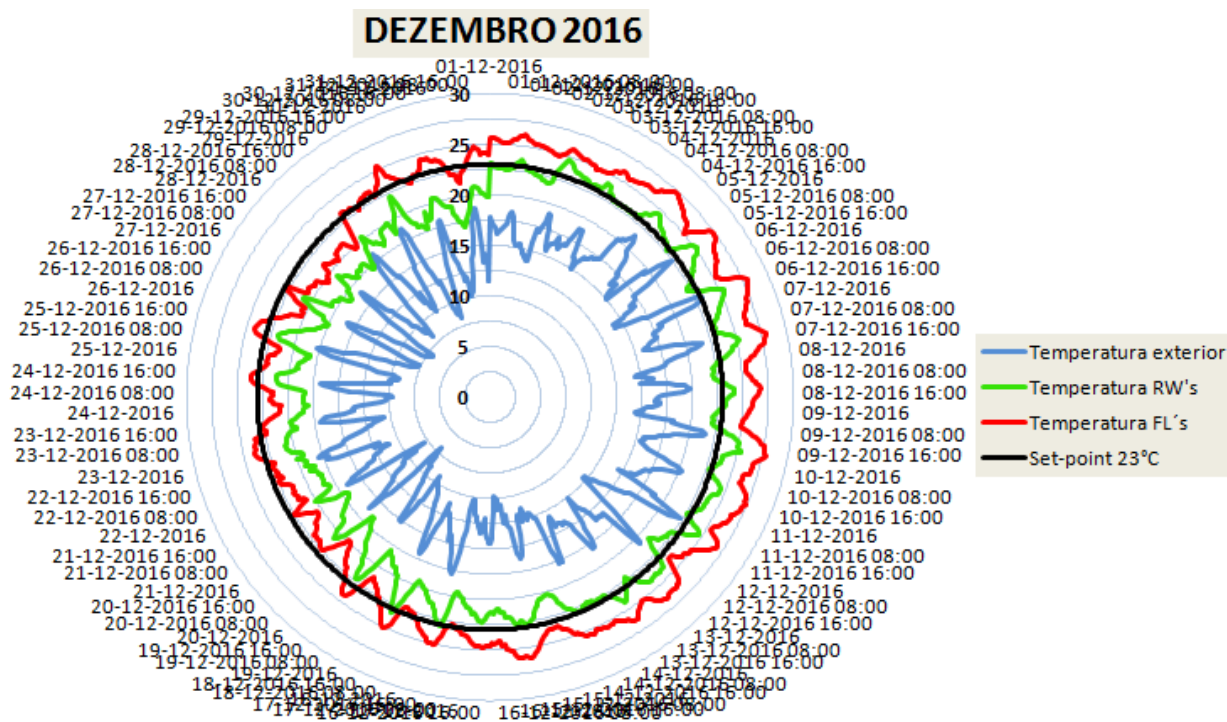


Gráfico 2.8 – Condições de temperatura em Novembro/2016

Durante o mês de Novembro (gráfico 2.8) as temperaturas no exterior desceram significativamente, com grandes oscilações, que se refletem nas temperaturas no interior. Devido a esta descida geral da temperatura, as condições térmicas da nave situam-se nos 23°C do set-point, no entanto no início do mês é visível um pico das temperaturas no exterior acima dos 25°C, originando um afastamento imediato das condições da nave do set-point, ou seja, o sistema permanece incapaz de fazer frente as cargas térmicas existentes. É de salientar que na última semana do mês, a temperatura na zona das RW está sucessivamente abaixo do set-point, o que poderá querer dizer que mesmo no modo de aquecimento, o sistema pode não fazer face as necessidades.



No mês de Dezembro foi instalado o chiller e em Janeiro foram instaladas as novas baterias de arrefecimento, logo os gráficos 2.9 e 2.10 podem refletir alguma instabilidade oriundo das obras efetuadas. Contudo verificamos que fruto das baixas temperaturas exterior as condições no interior de uma forma geral circundam a linha do set-point, no entanto existe um distanciamento entre as duas linhas características das duas zonas interiores, com a linha das RW a permanecer por longos períodos de tempo abaixo da linha de set-point, o que pode indicar que as baterias de aquecimento não se encontravam em funcionamento.

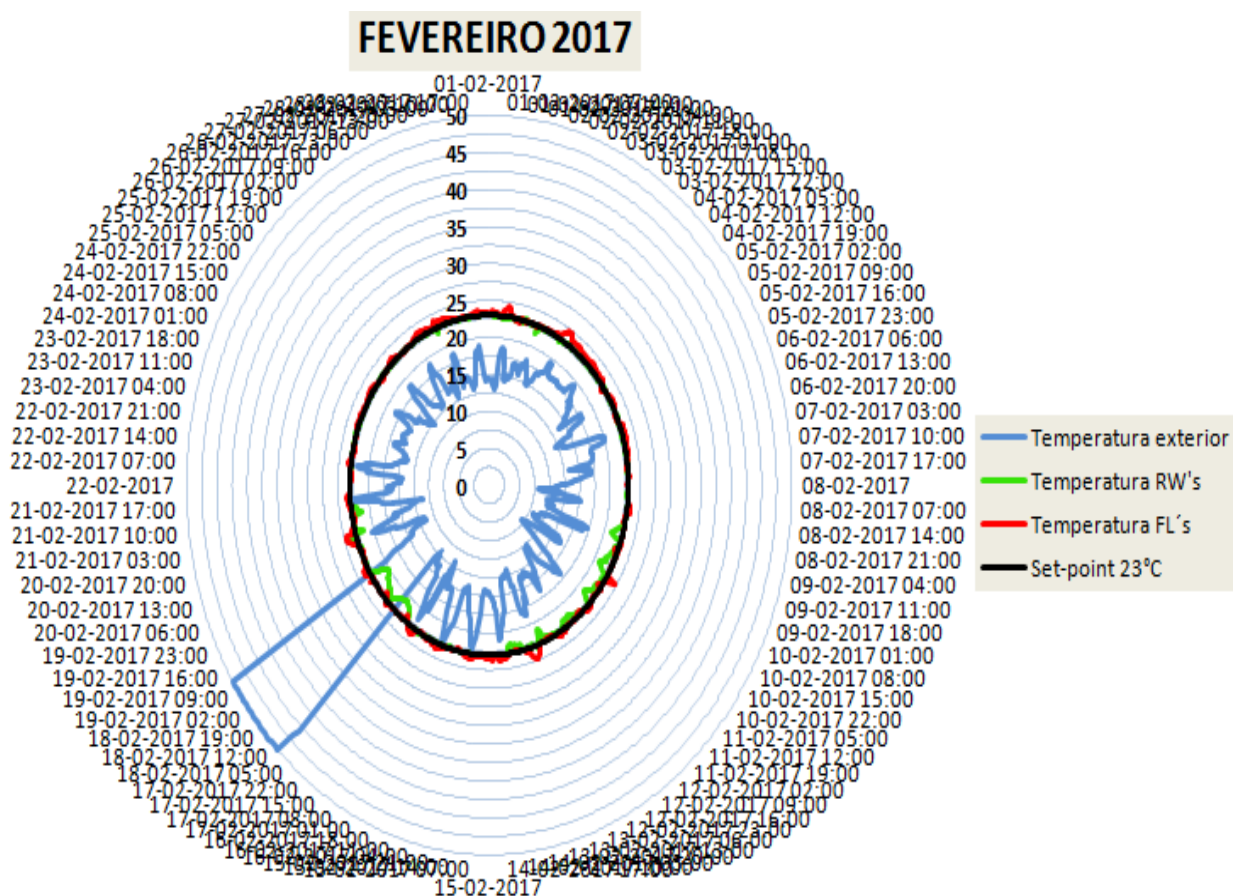


Gráfico 2.11 – Condições de temperatura em Fevereiro/2017

Dias (hora a hora)	EXTERIOR		RW's		FL's		Set-point 23°C
Fevereiro_2017	Humidade exterior	Temperatura exterior	Humidade RW's	Temperatura RW's	Humidade FL's	Temperatura FL's	
18-02-2017 06:00	90,90	11,75	37,06	20,96	36,39	23,00	23,00
18-02-2017 07:00	91,42	12,37	39,86	21,07	38,23	23,14	23,00
18-02-2017 08:00	91,23	13,18	42,58	20,99	40,22	22,93	23,00
18-02-2017 09:00	91,54	45,58	45,37	20,96	42,23	23,02	23,00
18-02-2017 10:00	87,47	46,87	47,36	21,21	43,85	23,07	23,00
18-02-2017 11:00	78,35	50,00	50,37	21,43	46,00	23,10	23,00
18-02-2017 12:00	73,74	50,00	51,27	21,56	47,04	23,04	23,00
18-02-2017 13:00	70,67	50,00	51,85	21,96	47,32	23,24	23,00
18-02-2017 14:00	65,65	50,00	51,23	22,11	46,89	23,31	23,00
18-02-2017 15:00	70,15	50,00	47,87	22,25	45,12	23,49	23,00
18-02-2017 16:00	65,85	50,00	45,56	22,26	43,94	23,42	23,00
18-02-2017 17:00	64,62	50,00	43,27	22,17	42,71	23,10	23,00
18-02-2017 18:00	68,03	50,00	41,55	22,00	41,11	22,74	23,00
18-02-2017 19:00	71,15	50,00	41,84	21,72	41,76	22,48	23,00
18-02-2017 20:00	70,60	50,00	41,51	21,55	41,41	22,33	23,00
18-02-2017 21:00	75,83	50,00	41,28	21,51	40,43	23,01	23,00
18-02-2017 22:00	79,74	50,00	41,96	21,36	40,43	23,02	23,00
18-02-2017 23:00	79,52	50,00	41,84	21,32	40,19	23,06	23,00

Quadro 2.3 - Registos de temperatura e HR em Fevereiro/2017_A

Dias (hora a hora)	EXTERIOR		RW's		FL's		Set-point 23°C
Fevereiro_2017	Humidade exterior	Temperatura exterior	Humidade RW's	Temperatura RW's	Humidade FL's	Temperatura FL's	
18-02-2017 23:00	79,52	50,00	41,84	21,32	40,19	23,06	23,00
19-02-2017	80,77	50,00	40,79	21,09	39,12	22,88	23,00
19-02-2017 01:00	80,45	50,00	40,20	20,97	38,24	23,00	23,00
19-02-2017 02:00	78,37	50,00	38,87	21,05	37,38	22,98	23,00
19-02-2017 03:00	77,32	50,00	38,45	20,96	37,20	23,01	23,00
19-02-2017 04:00	79,59	50,00	38,09	20,64	36,23	22,90	23,00
19-02-2017 05:00	78,99	50,00	36,85	20,48	34,94	22,96	23,00
19-02-2017 06:00	79,88	50,00	36,41	20,19	34,23	22,94	23,00
19-02-2017 07:00	78,36	50,00	36,10	20,02	33,82	22,87	23,00
19-02-2017 08:00	77,24	50,00	36,13	20,08	34,14	22,97	23,00
19-02-2017 09:00	75,79	50,00	38,09	20,73	36,18	23,55	23,00
19-02-2017 10:00	73,31	50,00	42,33	20,90	40,44	22,96	23,00
19-02-2017 11:00	68,00	50,00	45,59	21,22	43,03	23,10	23,00
19-02-2017 12:00	60,97	50,00	47,61	21,70	43,60	23,19	23,00
19-02-2017 13:00	53,17	33,91	44,52	22,51	43,08	23,40	23,00
19-02-2017 14:00	47,99	20,07	40,88	23,43	41,64	23,81	23,00
19-02-2017 15:00	46,97	19,71	41,63	22,92	41,48	23,73	23,00
19-02-2017 16:00	57,70	19,27	42,29	22,95	41,91	23,71	23,00

Quadro 2.4 – Registos de temperatura e HR em Fevereiro/2017_B

Devido a uma falha de leitura na sonda, nos dias 18 e 19 conforme atesta os quadros 2.3 e 2.4, o gráfico 2.11 apresenta valores irreais nos respetivos dias originando um aumento da escala e consequente aumento da dificuldade de perceção do comportamento das linhas das temperaturas no interior. Este foi o mês de instalação da rede aerólíca nova da sala das bombas de vácuo da Folio 3 e 4. Apesar das dificuldades nota-se um comportamento coerente das linhas de temperaturas no interior, em torno do set-point, o que significa que as medidas executadas foram eficazes tornando o sistema capaz de responder as necessidades pretendidas.

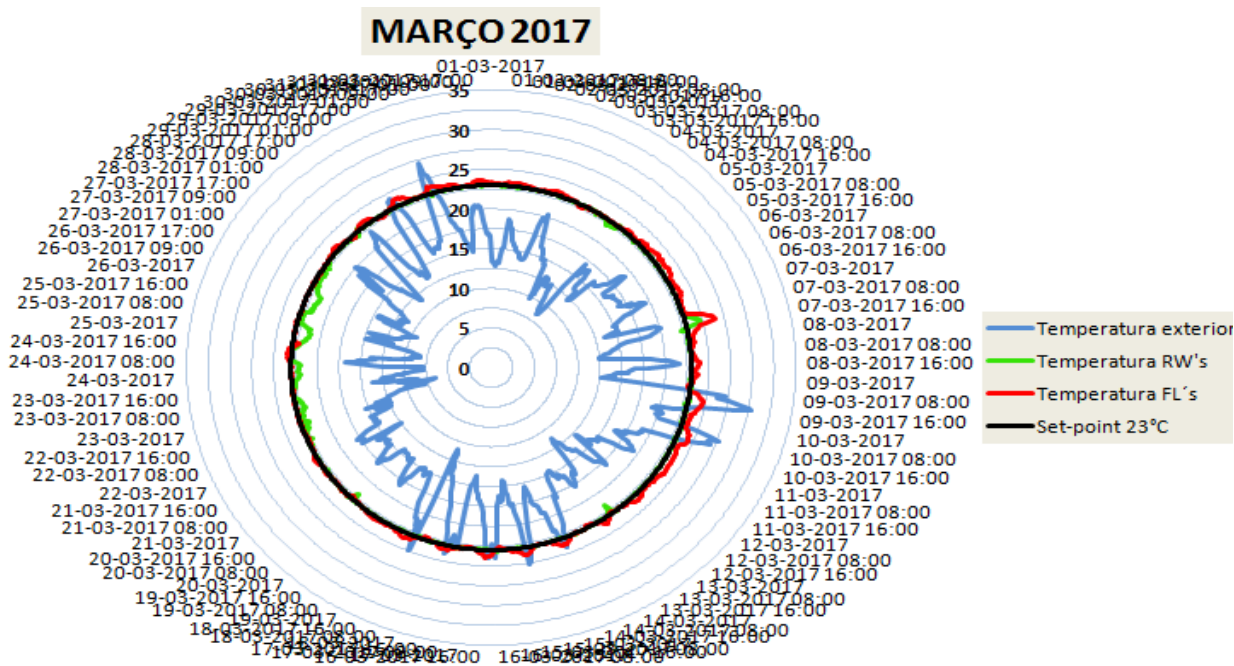


Gráfico 2.12 – Condições de temperatura em Março/2017

Durante o mês de Março (gráfico 2.12) as temperaturas no exterior permanecem com valores baixos com poucos picos acima do set-point, e verificamos que as linhas de temperatura no interior permanecem nos 23°C com poucas oscilações, logo podemos concluir que o sistema de climatização está a responder eficazmente às necessidades a que está sujeito.

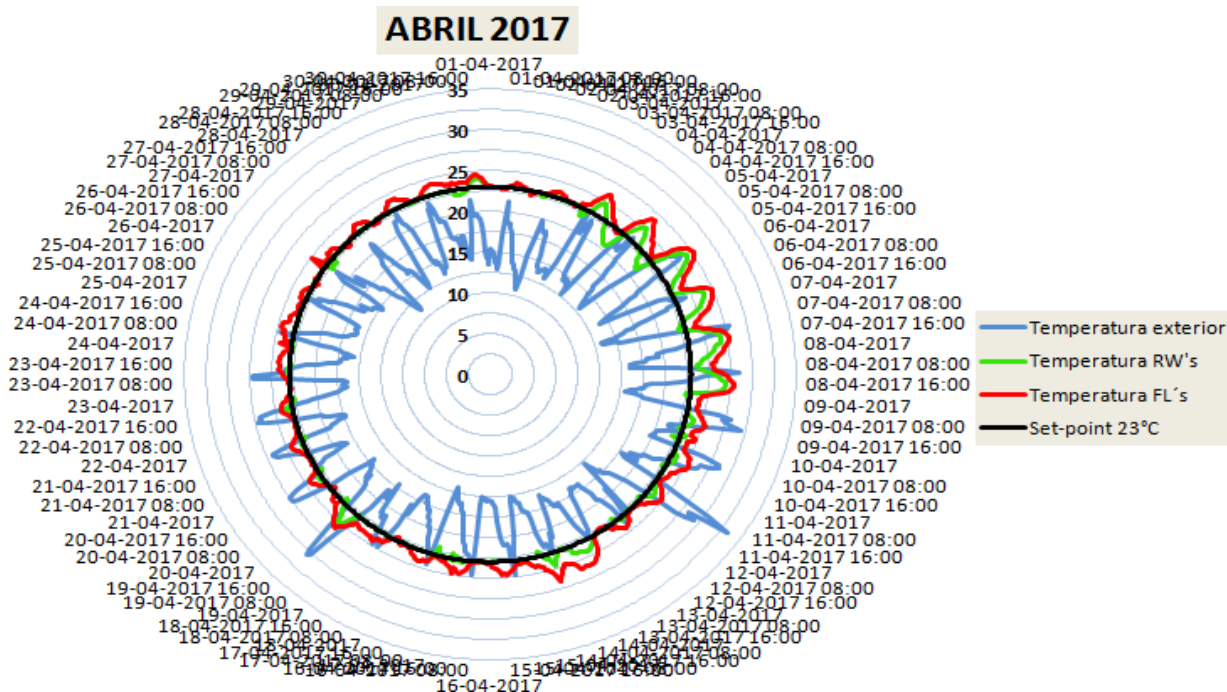


Gráfico 2.13 – Condições de temperatura em Abril/2017

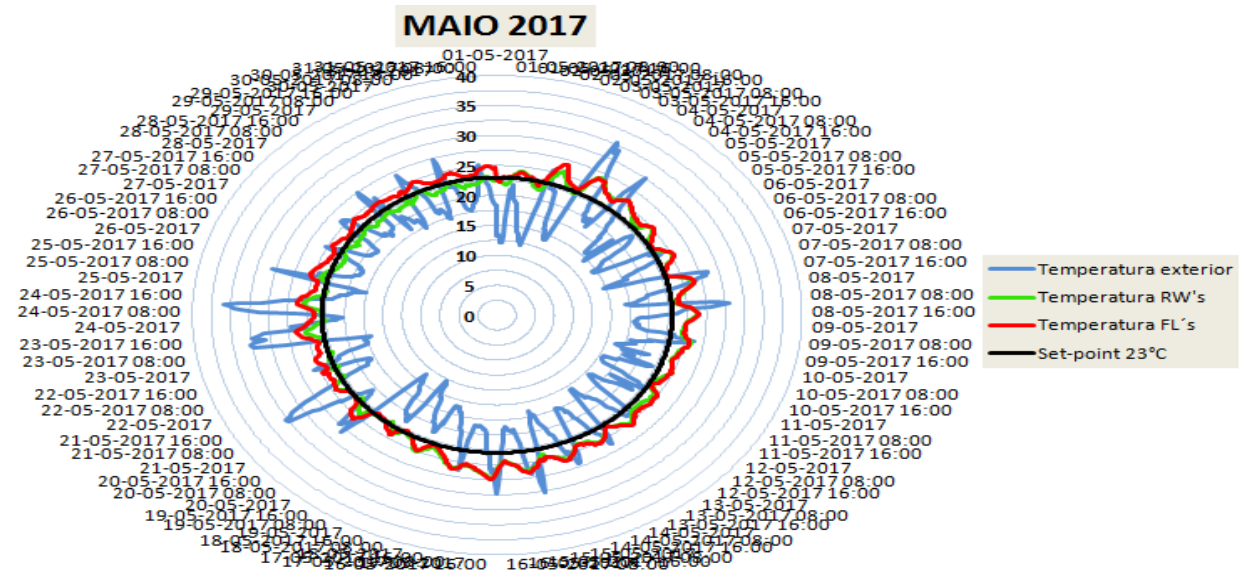


Gráfico 2.14 – Condições de temperatura em Maio/2017

Por fim nos dois meses referentes aos gráficos 2.13 e 2.14, com as temperaturas no exterior a aumentar e com alguns picos acima da linha do set-point, as linhas das temperaturas no interior mantêm-se nos 23°C pretendidos salvo situações em que tem de responder a picos de temperatura do exterior, retomando de seguida às condições de projeto. Nota-se também uma quase sobreposição total das linhas de temperatura das RW e das FL, refletindo assim um equilíbrio do sistema no seu todo em resposta às condições exigidas.

Nesta primeira fase e perante estes dados podemos concluir que as medidas tomadas são eficazes, e o sistema de climatização possui agora condições para fazer face as exigências exteriores e interiores de forma a manter a nave termicamente nas condições de set-point.

2.4.2 Humidade Relativa

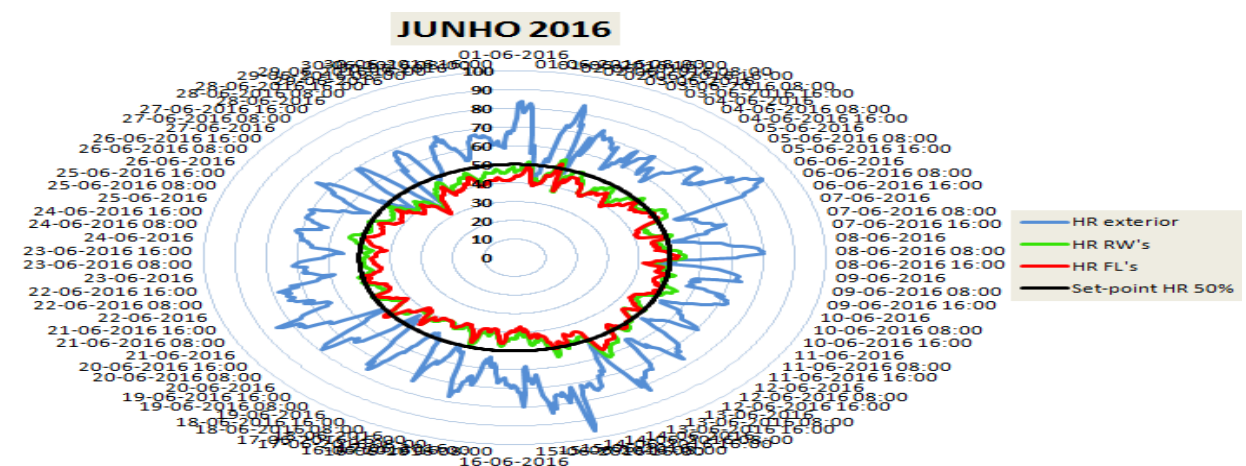


Gráfico 2.15 - Condições de HR em Junho/2016

Durante este mês de Junho com HR exteriores maioritariamente acima da linha de set-point de 50%, as HR no interior da nave mantiveram-se na generalidade abaixo dos 50% e com valores quase sempre idênticos entre as duas zonas, RW e FL conforme nos indica o gráfico 2.15.

É de salientar que para a preservação da qualidade do produto é preferencial uma HR abaixo dos 50% ao invés de valores acima, que interferem com mais intensidade nos movimentos de contração e alongamento dos constituintes do papel, originando variações dimensionais no produto.

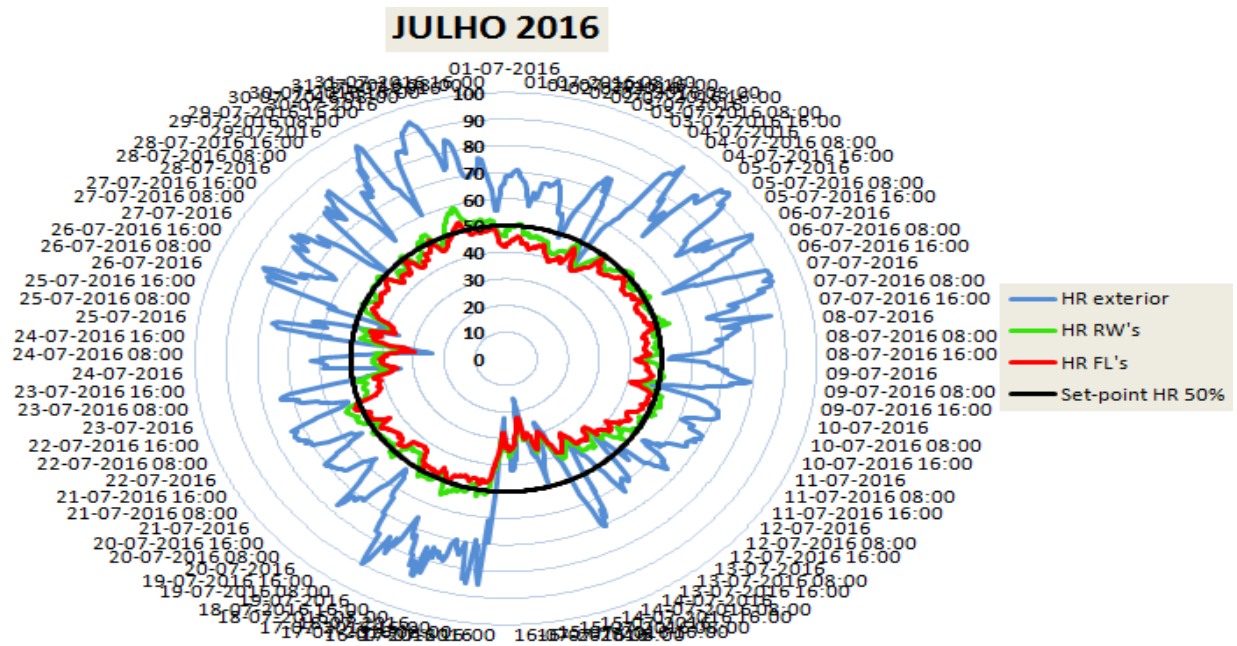


Gráfico 2.16 – Condições de HR em Julho/2016

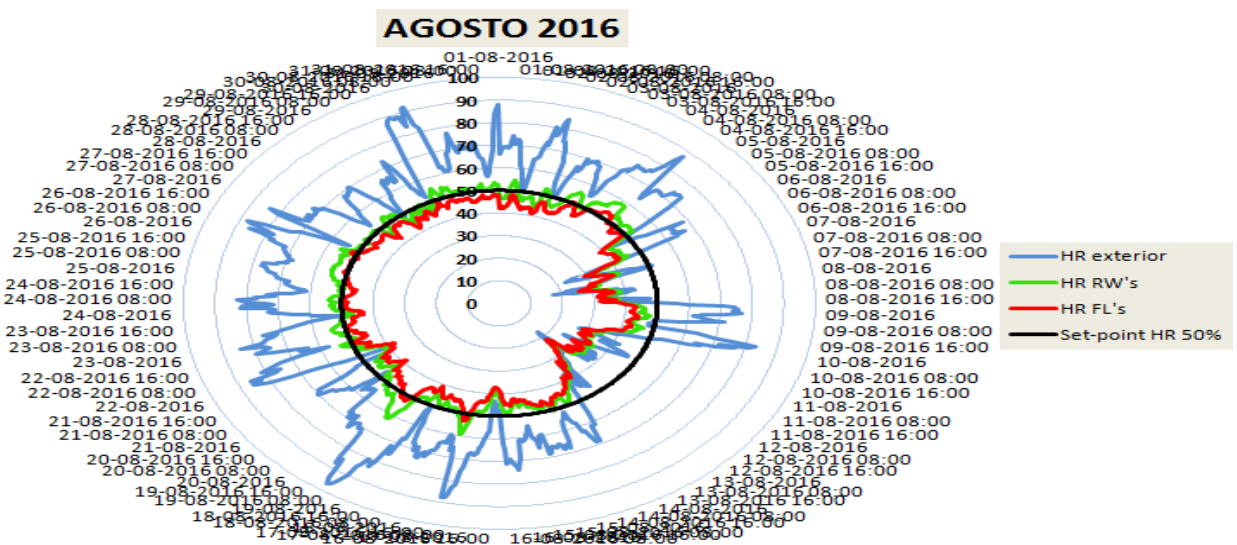


Gráfico 2.17 - Condições de HR em Agosto/2016

Nos dois meses de verão referidos nos gráficos 2.16 e 2.17 regista-se picos de HR exterior muito baixa, no ordem dos 20%, que são acompanhadas pelas HR no interior, o que nos leva a crer que o sistema não está a colmatar estes défices. Nos restantes períodos os valores continuam a permanecer em torno dos 50%.

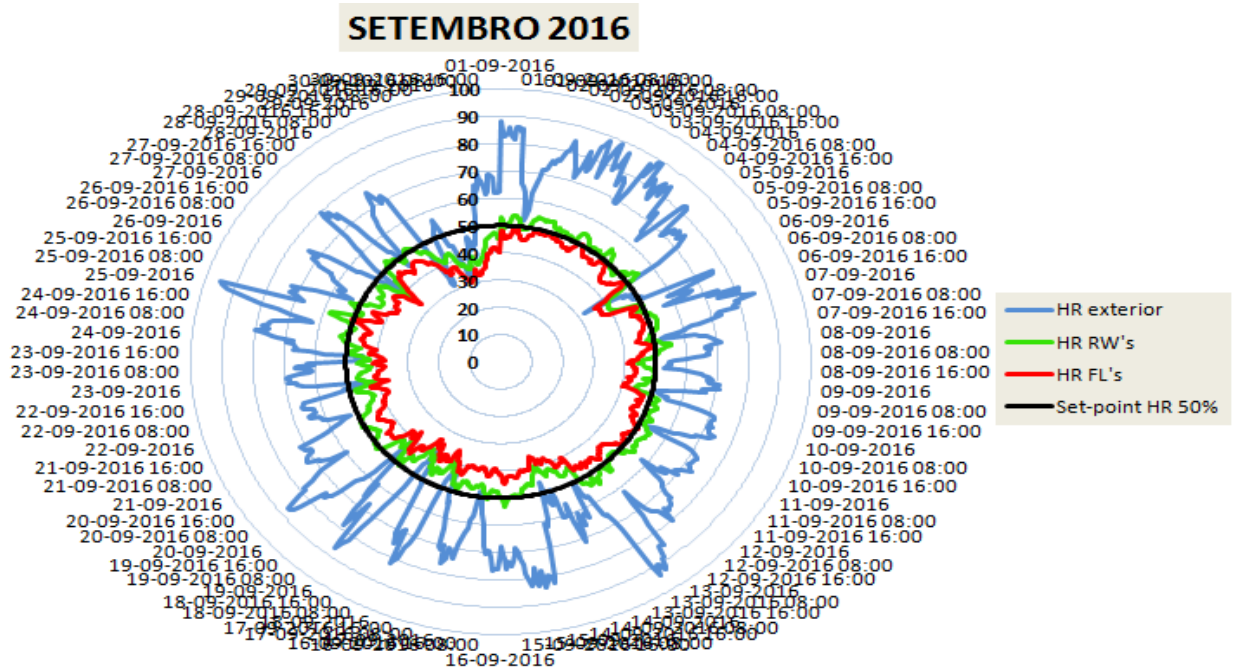


Gráfico 2.18 - Condições de HR em Setembro/2016

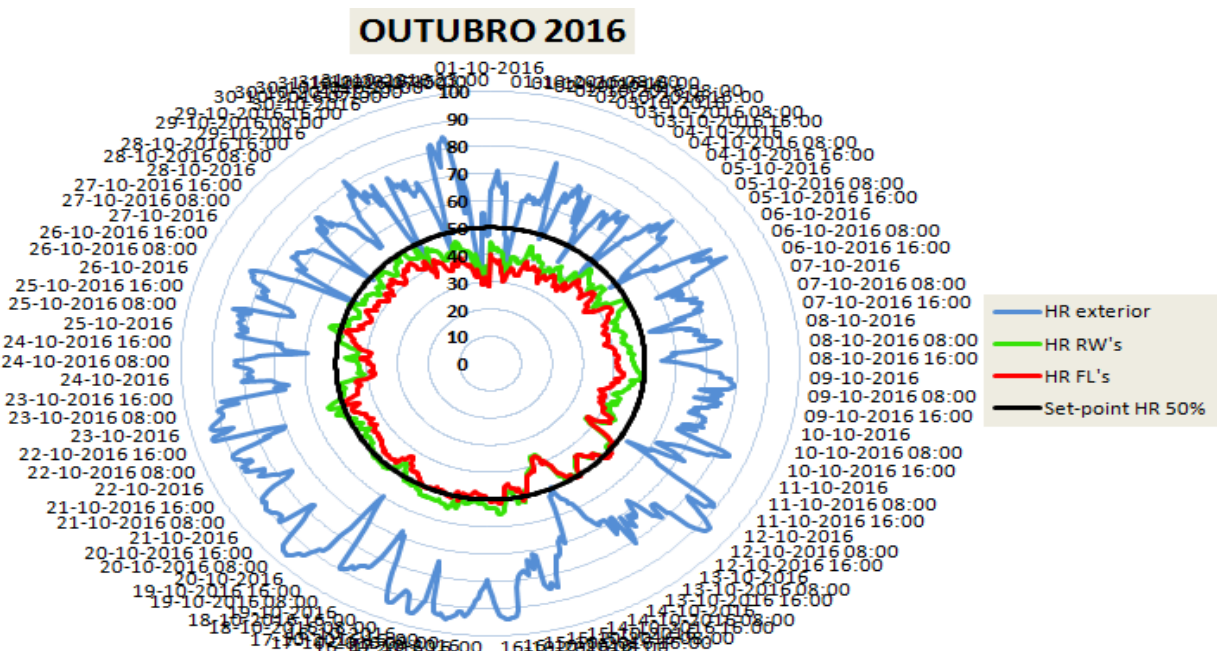


Gráfico 2.19 - Condições de HR em Outubro/2016

Durante os meses dos gráficos 2.18 e 2.19 a HR no geral, permanece abaixo da linha de set-point e sem argumentos para colmatar os picos de HR baixa do exterior. É de notar um afastamento das duas linhas de HR no interior, com valores superiores na linha referente às RW. Esta situação poderá ser fruto de uma temperatura mais baixa nesta zona, tendo em conta que a humidade absoluta é igual em toda nave, se traduz numa HR mais elevada nesta zona.

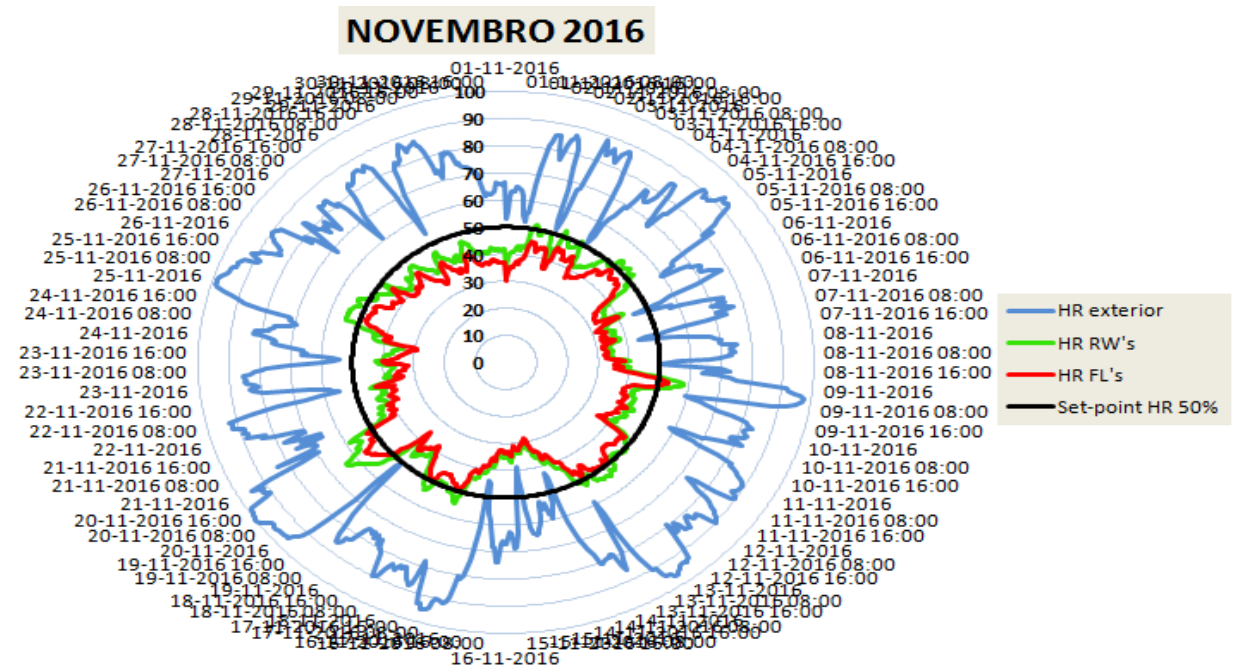


Gráfico 2.20 - Condições de HR em Novembro/2016

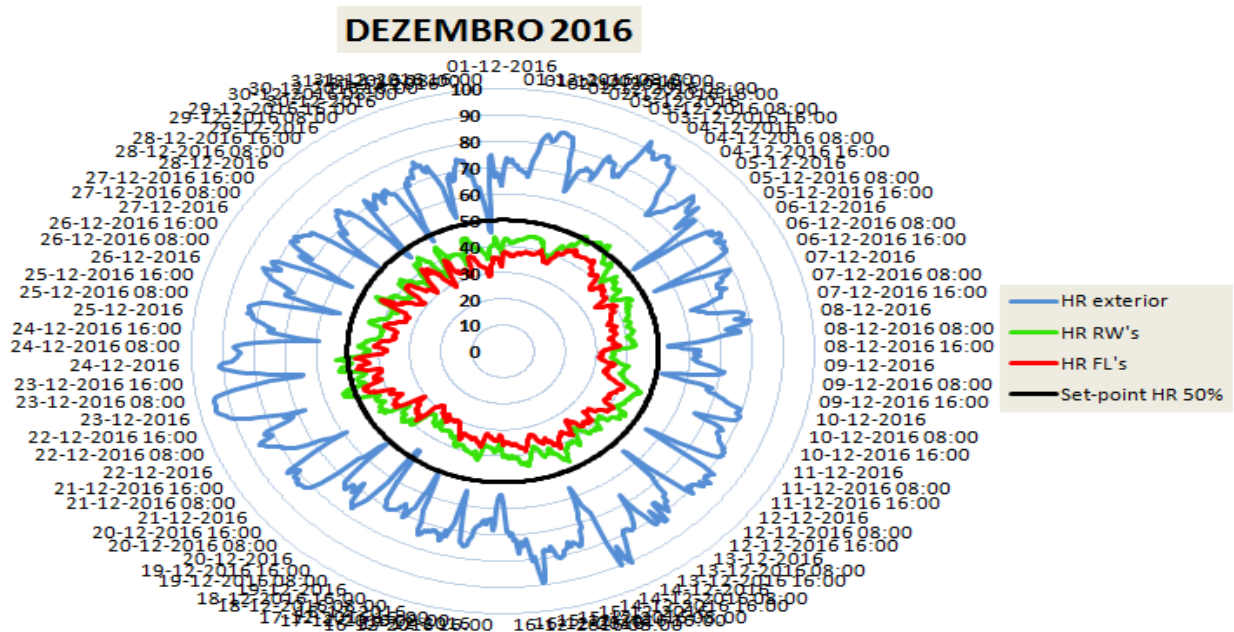


Gráfico 2.21 - Condições de HR em Dezembro/2016

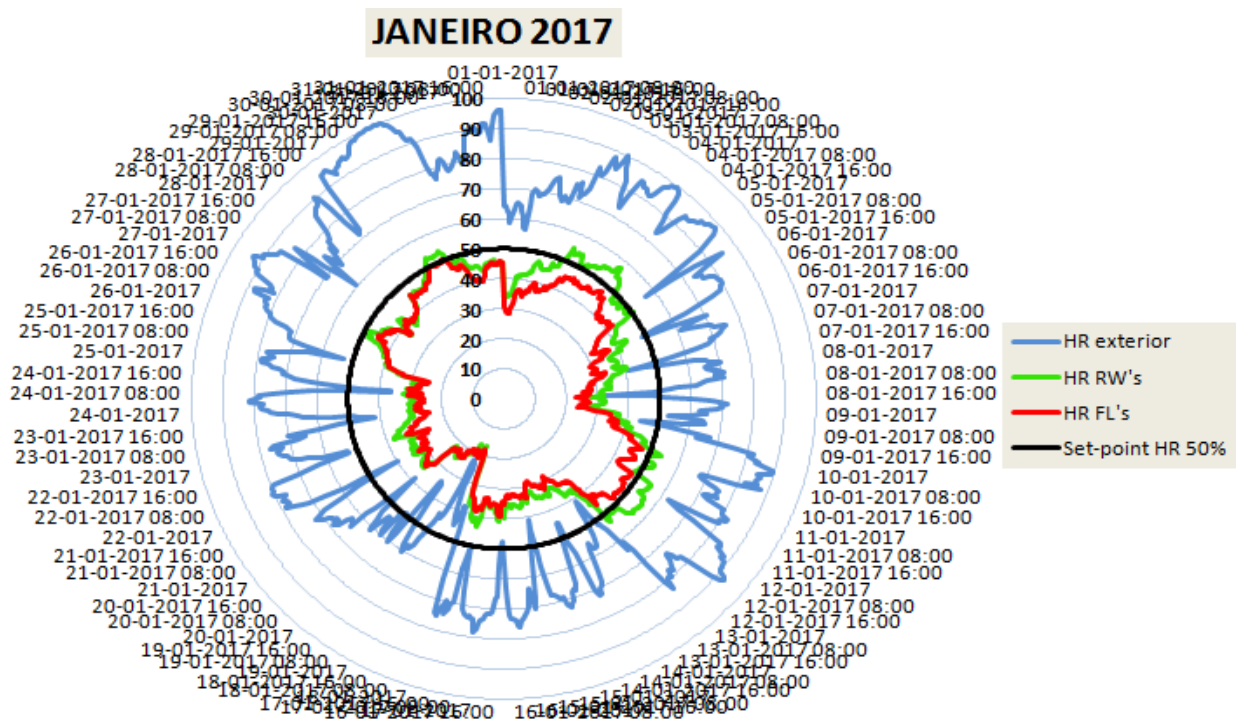


Gráfico 2.22 - Condições de HR em Janeiro/2017

Nestes últimos três gráficos (2.20, 2.21 e 2.22) podemos observar que a HR no interior permanece maioritariamente abaixo da linha dos 50%, em alguns casos com valores no intervalo de 20% a 30%, e por períodos longos. Estes registos refletem o facto de apesar de se verificar HR altas no exterior e com temperaturas baixas típicas da época, traduz-se numa humidade absoluta baixíssima. O ar ao entrar na nave nessas condições necessita de uma grande humidificação para atingir os 50% pretendidos, tendo em conta que o sistema não colmata esses défices, a HR baixa dentro da nave.

Outra situação recorrente nestes três gráficos tem a ver com o desfasamento que existe entre as duas linhas da HR no interior. Este facto como já foi explicado e tem a ver com as diferenças de temperatura interior existentes nas duas zonas, visto que nesta altura o Sistema de Climatização estava a sofrer as já referidas obras de melhoramento.

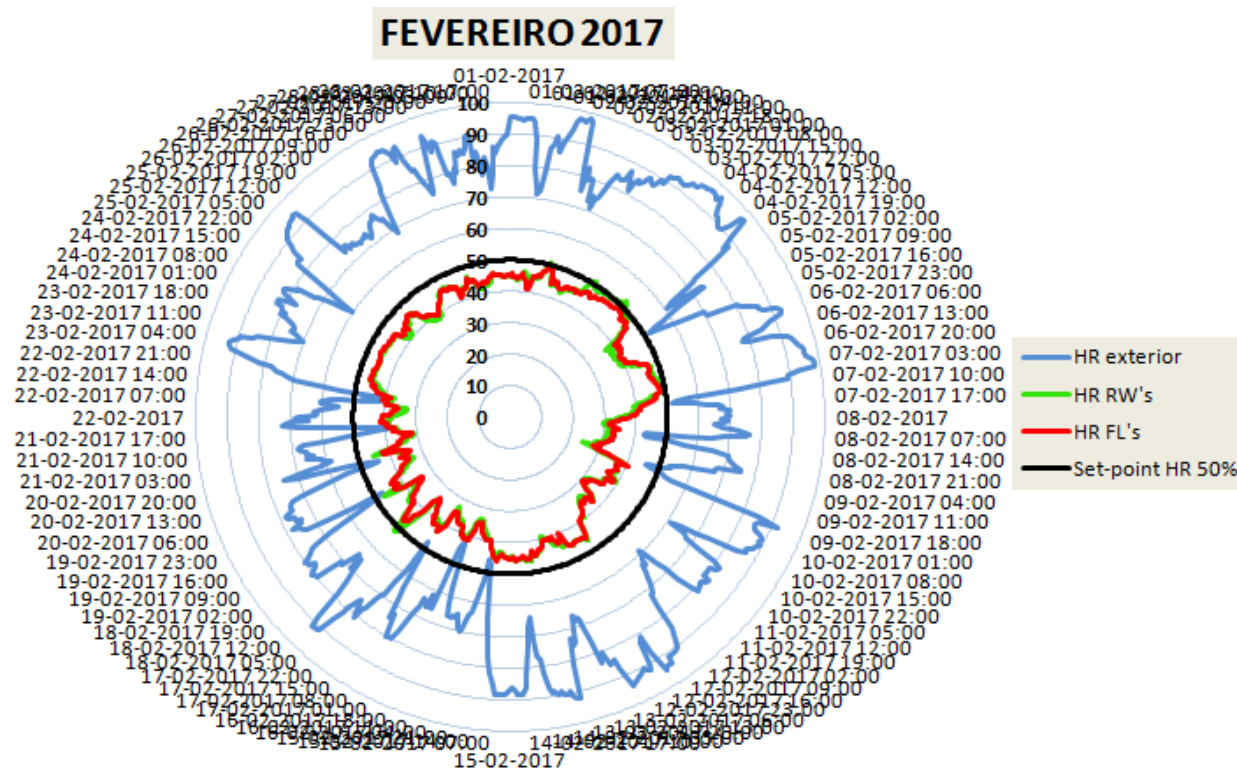


Gráfico 2.23 - Condições de HR em Fevereiro/2017

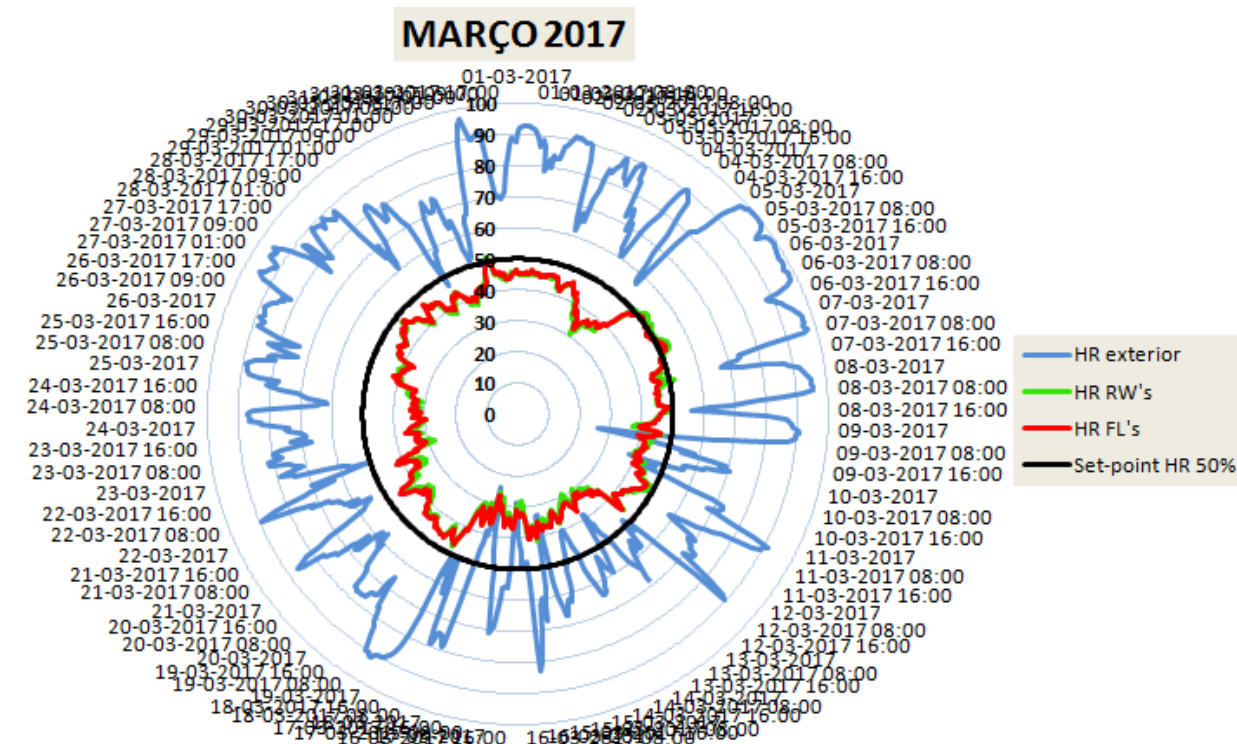


Gráfico 2.24 - Condições de HR em Março/2017

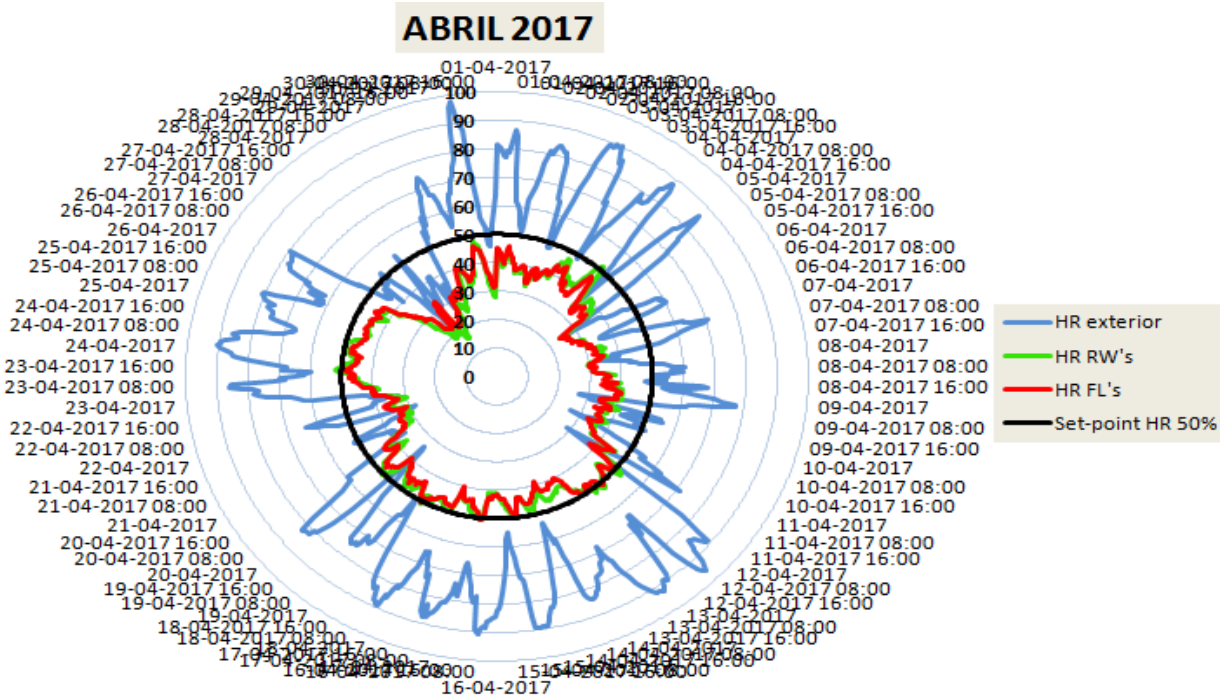


Gráfico 2.25 - Condições de HR em Abril/2017

Nos gráficos 2.23, 2.24 e 2.25, permanecem os registos de HR no interior abaixo do 50% com o sistema a não conseguir suprimir as condições de humidade absoluta baixa típica da época, no entanto, as duas linhas de HR no interior estão praticamente sobrepostas, refletindo uma homogeneidade nas temperaturas interiores entre as duas zonas.

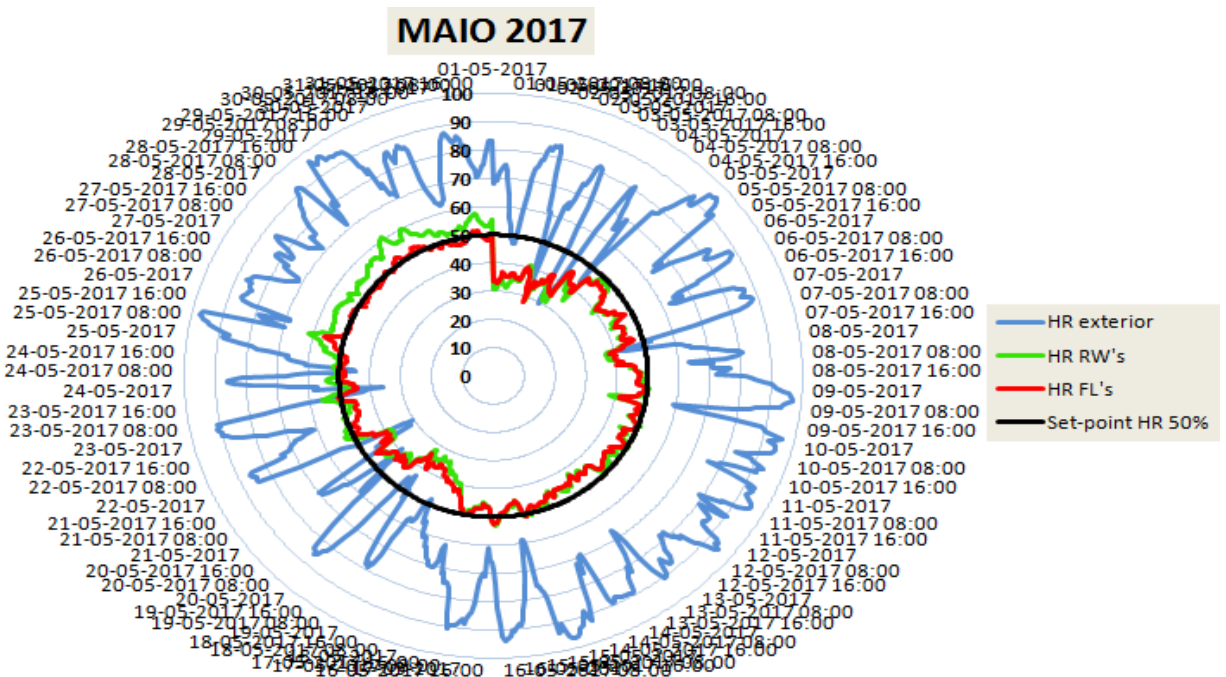


Gráfico 2.26 - Condições de HR em Maio/2017

Por último durante o mês de Maio, representado no gráfico 2.26, os registos da HR no interior voltaram a se aproximar/cruzar a linha de set-point, diminuindo somente perante picos de HR baixa no exterior. Este facto deve estar relacionado com o facto de este mês ser mais quente mas também húmido do que os meses mais frios, traduzindo-se numa humidade absoluta maior no exterior que se reflete numa HR maior no interior.

Após a análise destes registos ficamos com a ideia de que o Sistema de Climatização não tem capacidade de humidificação suficiente para suprir as necessidades que HR no exterior impõe, especialmente nos meses mais frios em que a humidade absoluta atinge valores muito baixos, e o sistema de humidificação é mais solicitado.

Este défice pode estar relacionado com o facto de a pulverização após a bateria de aquecimento na UTA, ser constituído só por duas fiadas de pulverizadores que não conseguem cobrir toda a área de passagem do ar, provocando um forte by-pass à humidificação. Possivelmente com a instalação de mais uma fiada de pulverizadores na zona superior, a “nuvem” cubra toda a área de passagem de ar, obtendo os níveis de humidificação pretendidos.

CAPITULO 3 – ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DO FREE COOLING

3.1 Âmbito e Objetivo do Estudo

Neste capítulo efetua-se um estudo para melhorar a eficiência energética e económica no sistema de climatização da nave industrial ao implementar o conceito free cooling como é ilustrado na figura 3.1.

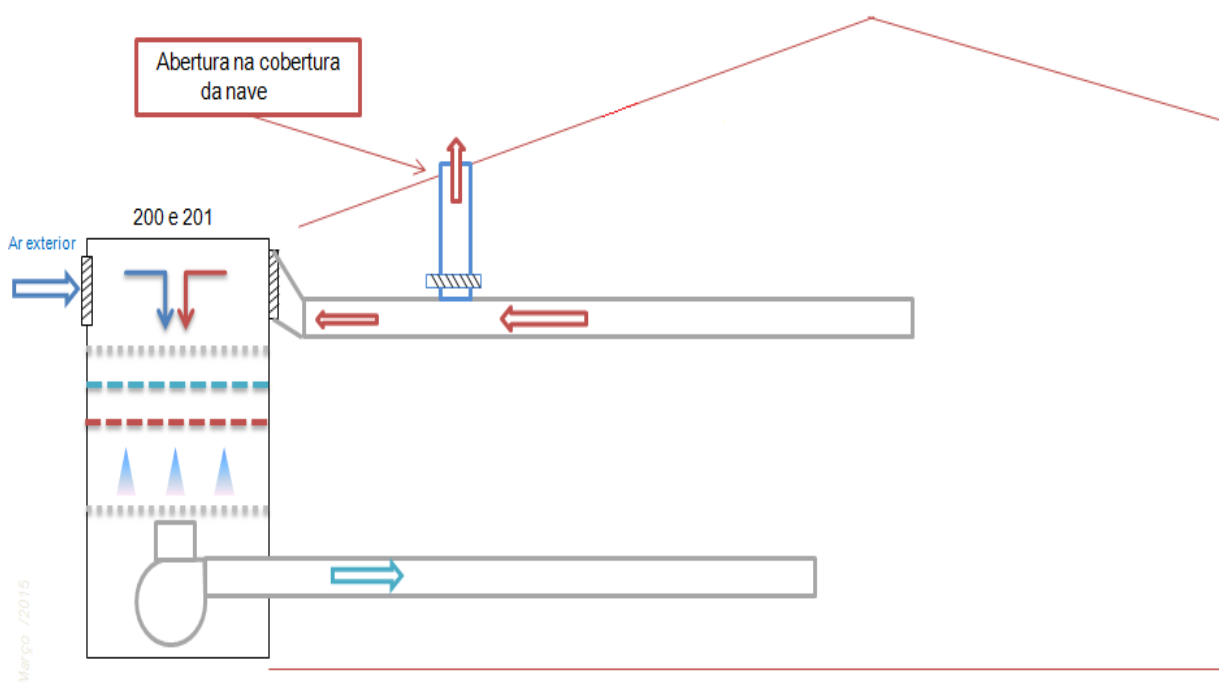


Figura 3.1 - Esquema da nave industrial com free cooling

Tendo em conta que no capítulo anterior a eficácia do sistema foi obtida após a implementação das medidas que compõem a primeira fase do projeto de melhoria do sistema, agora aborda-se a eficiência do sistema, nas variáveis energia consumida, custos e horas de trabalho do chiller, quando submetido a uma técnica de poupança designada por Free Cooling (FC).

Este estudo tem como objetivo dar a conhecer a existência e a dimensão dos benefícios, energéticos e económicos, assim como o comportamento do sistema de climatização quando confrontado com a aplicação do free cooling em comparação com atual realidade, ou seja, a inclusão constante de cerca de 16% de ar novo, do caudal máximo, durante todo o ano.

Este tipo de indústria é caracterizado por consumos energéticos elevadíssimos inerentes ao seu processo de fabrico. Face ao panorama mundial energético com a volatilização dos preços, perturbações no fornecimento e aumento acentuado dos impactes ambientais oriundos da sua exploração, a União Europeia elaborou uma estratégia para o sector da energia que visa entre outras medidas uma racionalização do consumo energético assente numa consciencialização por parte de todos os agentes energéticos. Foram estipulados objetivos para 2020 e 2030, com a referência em ambos à eficiência energética, quantificando valores alvo para todos os intervenientes.

No panorama nacional o sector da indústria representa cerca de 30% do consumo final da energia do país, pelo que o aumento da eficiência energética exige uma atitude pró-ativa por parte do sector, de forma a adequar os seus equipamentos e processos a novas tecnologias e estratégias disponíveis mais eficientes.

A estratégia nacional assenta no Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril que regula o Sistemas de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) no qual se insere a The Navigator Company com consumos superiores a 1000 tep/ano. Após várias alterações do diploma, sendo a última o Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, são criadas várias medidas com o vista ao aumento de eficiência energética das instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), sem perder a sua base competitiva no quadro da economia global.

O SGCIE impõe que as instalações CIE realizem auditorias energéticas periódicas, que com base nas suas condições de utilização promovam o aumento da eficiência energética incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê também a elaboração e execução, dos designados Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) que estabelecem objetivos mínimos de eficiência energética. Os PREn após aprovados constituem Acordos de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) celebrados com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos.

Sendo a The Navigator Company uma empresa de referência, foram desde logo estabelecidos compromissos assentes numa visão de potenciar a eficiência energética nas suas atividades adotando princípios de melhoria continua. Foi estipulado o objetivo de diminuir em 15% o consumo específico de energia da pasta e do papel no período de 2015 a 2025 e definidos 7 eixos de intervenção estratégica onde se enquadram os projetos que vão permitir alcançar o objetivo pretendido:

- Sistema de Gestão de Energia (SGE) – Implementar um SGE com base na norma ISO 50001.
- Energias Renováveis – Execução de projetos de produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renovável, com predominância na energia solar fotovoltaica e biomassa.
- Eficiência Energética na Iluminação – Utilização de tecnologias de iluminação mais eficientes nas áreas industria com recurso à tecnologia Díodo Emissor de Luz (LED).
- Comportamentos – Catalogar a eficiência energética não como uma necessidade mas como um princípio fulcral, dentro e fora da empresa, de forma a apelar e sensibilizar os colaboradores para comportamentos conscientes e responsáveis na utilização energética. Sensibilizar as pessoas que os resultados não são benéficos só localmente mas sim num âmbito global, consumindo de forma sustentada os recursos naturais para satisfação das necessidades presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras.
- Processo Industrial – Otimização dos processos industriais de forma a reduzir o consumo específico de energia da pasta e do papel.
- Mobilidade elétrica – Avaliar a possível introdução de veículos elétricos na frota da companhia.
- Sistemas de Informação – Implementar um sistema de monitorização e gestão do consumo de energia nos sites industriais.

Desde então, já vários projetos e campanhas foram realizados, tais como:

- Instalação da Central Solar Fotovoltaica no site de Setúbal, com a colocação de 8.800 painéis solares fotovoltaicos na cobertura da PM4, permitindo produzir cerca de 3.100 MWh/ano, uma parte desta energia elétrica a ser utilizada no funcionamento da PM4.
- Construção da Central Solar Fotovoltaica na Herdade da Espirra, com instalação de 352 painéis que produziram 170 MWh/ano, diminuindo em 30% a fatura da energia elétrica da Herdade.
- Após a conclusão positiva de três projetos piloto de iluminação LED nos complexos industriais de Setúbal, Cacia e Figueira da Foz, existem em curso mais dezasseis projetos perfazendo um investimento total de 600.000 euros com um período de retorno do investimento entre 1,5 e 3 anos, fruto da redução do consumo de energia elétrica associada à iluminação.
- Criação de um Microsite Energia e Eficiência Energética na Intranet da empresa onde se poderá encontrar informação sobre atividade energética da empresa, como produção de energia elétrica, indicadores dos consumos e informação sobre os programas e campanhas de promoção da eficiência energética.
- Lançada a Campanha de Eficiência Energética que visa consciencializar os colaboradores para esta importante temática tanto na empresa como fora dela.

Sendo este um desafio atual da empresa, tal como foi referido recentemente pelo CEO da companhia, Diogo da Silveira, ao anunciar o compromisso da empresa em se tornar Carbon Free Company até 2035, com menos utilização de combustíveis fósseis e aumentando a sua auto-produção de eletricidade para 100% do consumo. Este estudo será uma mais valia, visto que toda a contribuição para o aumento da eficiência energética da empresa é benéfico, e tendo em conta que as dimensões das áreas fabris climatizadas são extensas, esta contribuição poderá ser significativa.

3.2 O Conceito Free Cooling

A técnica FC caracteriza-se pela utilização total ou parcial do ar exterior para proceder à climatização de um espaço quando se verificam condições exteriores ótimas para o processo. É um processo de poupança que permite arrefecimento sem utilização das baterias de frio ou com uma utilização parcial, dependendo a eficiência dessa poupança das condições climatéricas exteriores típicas do local.

Na prática o sistema de climatização tem um controlador que permite abrir e fechar em automático, os registos de entrada de ar novo e de exaustão do ar de retorno, tendo em conta os registos das condições de temperatura e/ou HR no interior e exterior da zona a climatizar.

É de realçar desde já que o tipo de clima da localidade em causa é fulcral para a instalação e o dimensionamento do economizador, ao ponto de haver situações em que o seu deficiente dimensionamento pode inverter o seu objetivo, tornando o sistema de climatização mais dispendioso com o economizador do que sem ele.

Além da poupança outra vantagem deste sistema prende-se com o facto de em determinadas circunstâncias o ar ser insuflado 100% ar novo, a totalidade do caudal, elevando assim a qualidade do ar interior a níveis inatingíveis em comparação com as condições de um sistema normal com cerca de 80% de ar de retorno/20% ar novo.

Apesar deste processo ser amplamente utilizado noutros países, nomeadamente nos Estados Unidos da América (EUA) onde em determinados estados a sua utilização é obrigatória, em Portugal a sua utilização é reduzida. Uma das justificações deverá ser a não obrigatoriedade de instalação em sistemas com o caudal inferior a 10.000 m³/h de acordo com o ponto 10 do Artigo 14º do Decreto-Lei N°79/2006 de 4 de Abril, o que leva a pouca formação neste campo.

Em algumas instalações se existir um deficiente controlo de operação do sistema os resultados poderão ser negativos. Se o sistema insuflar uma quantidade de ar novo maior do que o necessário vai originar maiores gastos do que reduções nos custos de operação e pode induzir numa opinião negativa sobre a utilização do FC. Outro problema que se verifica nestes sistemas é uma má manutenção dos registos de ar.

A importância dos registos é igual ao controlo de funcionamento do sistema, pelo que uma deficiente manutenção nestes componentes pode adulterar em muito os resultados finais.

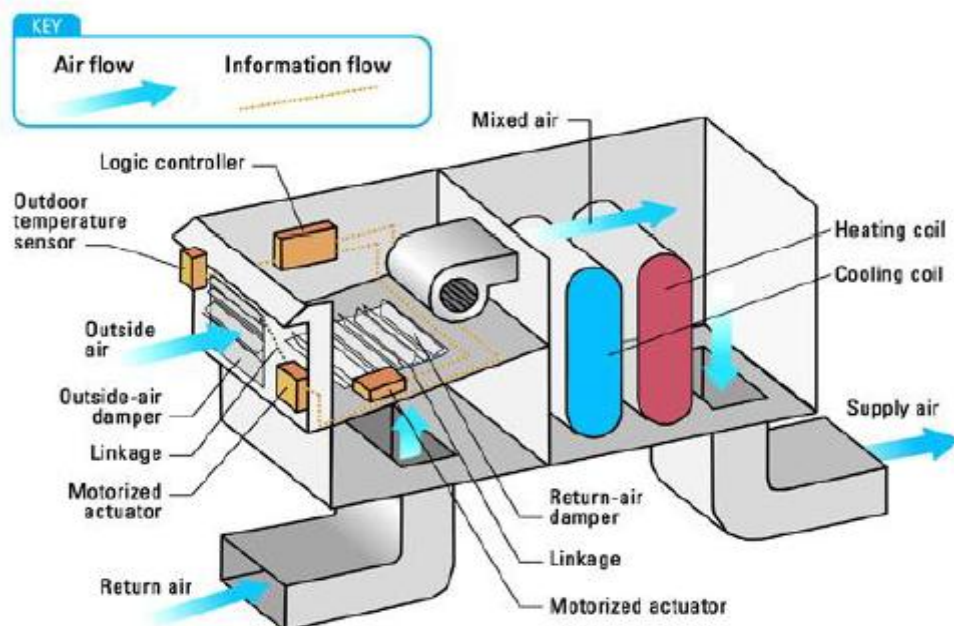


Figura 3.2 - Componentes de um sistema de climatização com FC_A

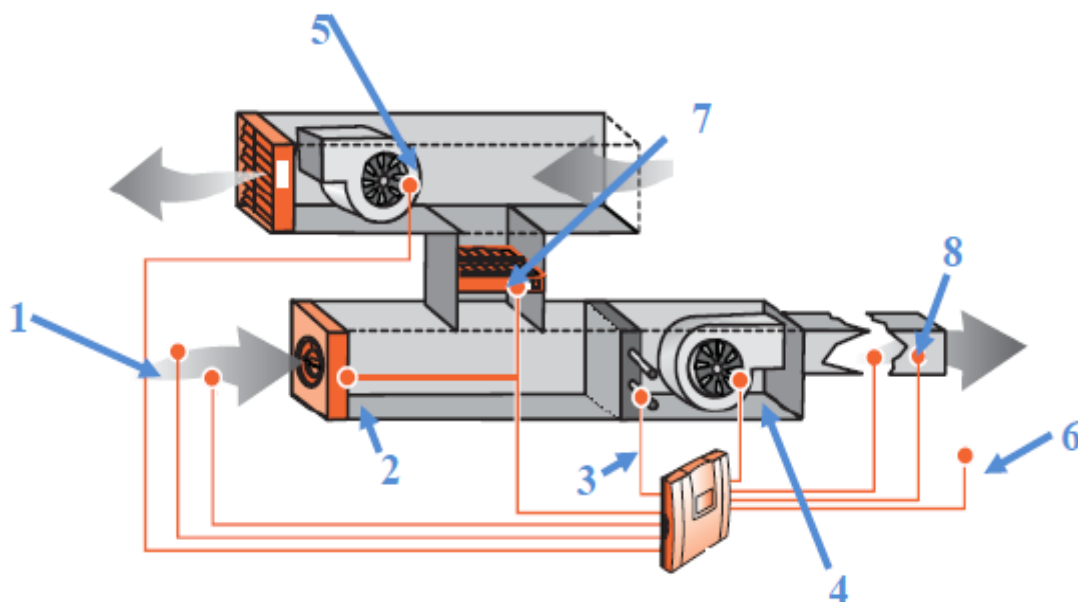


Figura 3.3 - Componentes de um sistema de climatização com FC_B (Trane®,2006), 1- sensores de temperatura e humidade exteriores, 2- registo regulador do caudal de ar novo, 3- bateria de aquecimento/arrefecimento, 4- controlador, 5- registo regulador do caudal de ar de exaustão, 6- sensores de temperatura e humidade interiores, 7- registo regulador do caudal de ar de retorno, 8- sensores de temperatura e humidade de insuflação

As figuras 3.2 e 3.3 apresentam um sistema de climatização com a aplicação do FC, fazendo referência aos seus componentes principais.

3.2.1 Etapas do Free Cooling

O processo de funcionamento de um sistema de climatização com economizador baseia-se em quatro etapas distintas retratadas na figura 3.4.

1. Etapa de aquecimento.
2. Etapa de FC.
3. Etapa de 100% ar novo com bateria de arrefecimento.
4. Etapa de ar novo mínimo com bateria de frio.

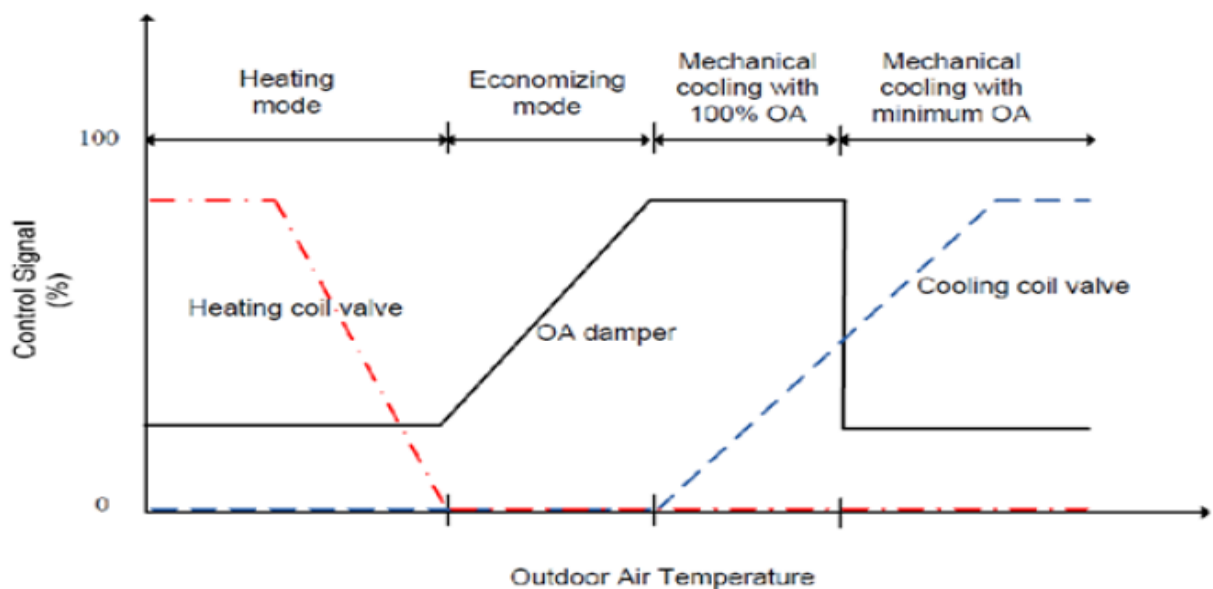


Figura 3.4 - Esquema das quatro etapas do processo de FC (Marcos, 2012)

Primeira etapa (etapa de aquecimento) - Típico para condições exteriores de Inverno. O registo de ar novo encontra-se na posição referente ao caudal mínimo de projeto com a bateria de aquecimento a debitar a potência máxima. À medida que as necessidades de aquecimento vão diminuindo a potência de aquecimento acompanha esta diminuição até ficar inativa.

Segunda etapa (etapa de FC) - Após se desligar a bateria de aquecimento e com o aumento da temperatura exterior, inicia-se a abertura progressiva do registo de ar novo até estar totalmente aberto. Nesta fase a climatização do espaço é feita com a insuflação de 100% de ar novo.

Terceira etapa (etapa de 100% ar novo com bateria de arrefecimento) - Inicia-se quando o caudal de 100% ar novo é insuficiente para extrair o calor do espaço a climatizar.

Logo, inicia-se o funcionamento progressivo da bateria de arrefecimento. Estas condições são características da Primavera, início do Verão.

Quarta etapa (etapa de ar novo mínimo com bateria de frio) - Verifica-se quando as condições exteriores são típicas do Verão com temperaturas exteriores elevadas, ou seja, o registo de ar novo é reduzido ao caudal mínimo de projeto e a climatização é feita com a bateria de arrefecimento.

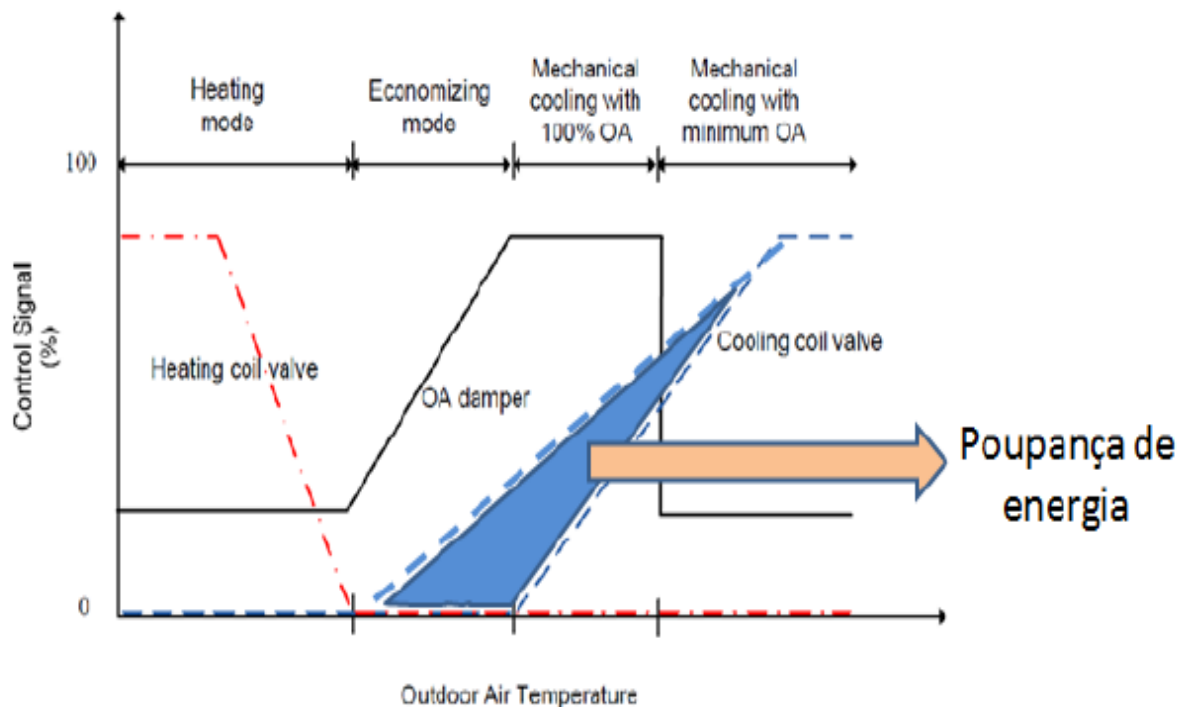


Figura 3.5 - Área de poupança de energia pela utilização de FC (Marcos,2012)

Apear da maior fatia de poupança ser na segunda etapa com as baterias desligadas, também existe uma poupança no decorrer da terceira etapa, uma vez que se o caudal de ar exterior tivesse no mínimo de projeto, a potência da bateria de frio teria de ser mais elevada como se pode observar na figura 3.5.

3.2.2 Tipos de Controlo do Free Cooling

Outro fator importante na implementação desta técnica é o Tipo de Controlo do FC. Mais uma vez os Estados Unidos da América com a sua vasta experiencia nesta matéria, abordam o tema na Norma ASHRAE Standard 90.1-2004 com aplicabilidade nos seus vários tipos de clima.

A Norma define um conceito, “High Limit Shutoff” (HLS), como o ponto com o valor máximo de temperatura ou entalpia para o qual ainda é possível aplicar o FC, ou seja, o valor de temperatura ou entalpia exterior que ainda permite obter poupança de energia com o economizador. No quadro 3.1 são definidos esses valores dependendo do tipo de clima.

DEVICE TYPE	CLIMATE ZONE	REQUIRED HIGH LIMIT (Economizer off when)	
		Equation	Description of equation
Fixed dry bulb	1B, 2B, 3B, 3C, 4B, 4C, 5B, 5C, 6B, 7, 8	$T_{OA} > 75^{\circ}\text{F}$	Outdoor air temperature (T_{OA}) is greater than 75°F
	5A, 6A, 7A	$T_{OA} > 70^{\circ}\text{F}$	Outdoor air temperature (T_{OA}) is greater than 70°F
	All other zones	$T_{OA} > 65^{\circ}\text{F}$	Outdoor air temperature (T_{OA}) is greater than 65°F
Differential dry bulb	1B, 2B, 3B, 3C, 4B, 4C, 5A, 5B, 5C, 6A, 6B, 7, 8	$T_{OA} > T_{RA}$	Outdoor air temperature (T_{OA}) is greater than return air temperature (T_{RA})
Fixed enthalpy	All	$h_{OA} > 28 \text{ Btu/lb}^a$	Outdoor air enthalpy (h_{OA}) is greater than 28 Btu/lb of dry air ^a
Electronic enthalpy	All	$(T_{OA}/RH_{OA}) > A$	Outdoor air temperature (T_{OA}) divided by RH_{OA} is greater than the "A" setpoint curve ^b
Differential enthalpy	All	$h_{OA} > h_{RA}$	Outdoor air enthalpy (h_{OA}) is greater than return air enthalpy (h_{RA})
Dew-point and dry bulb temperatures	All	$DP_{OA} > 55^{\circ}\text{F}$	Outside dew point (DP_{OA}) is greater than 55°F
		or $T_{OA} > 75^{\circ}\text{F}$	or Outdoor air dry bulb (T_{OA}) is greater than 75°F

For SI: °C = [(°F) - 32]/1.8, 1 foot = 304.8 mm, 1 British thermal unit per pound = 2326 J/Kg.

a. At altitudes substantially different than sea level, the fixed enthalpy limit shall be set to the enthalpy value at 75°F and 50-percent relative humidity. As an example, at approximately 6000 feet elevation the fixed enthalpy limit is approximately 30.7 Btu/lb.

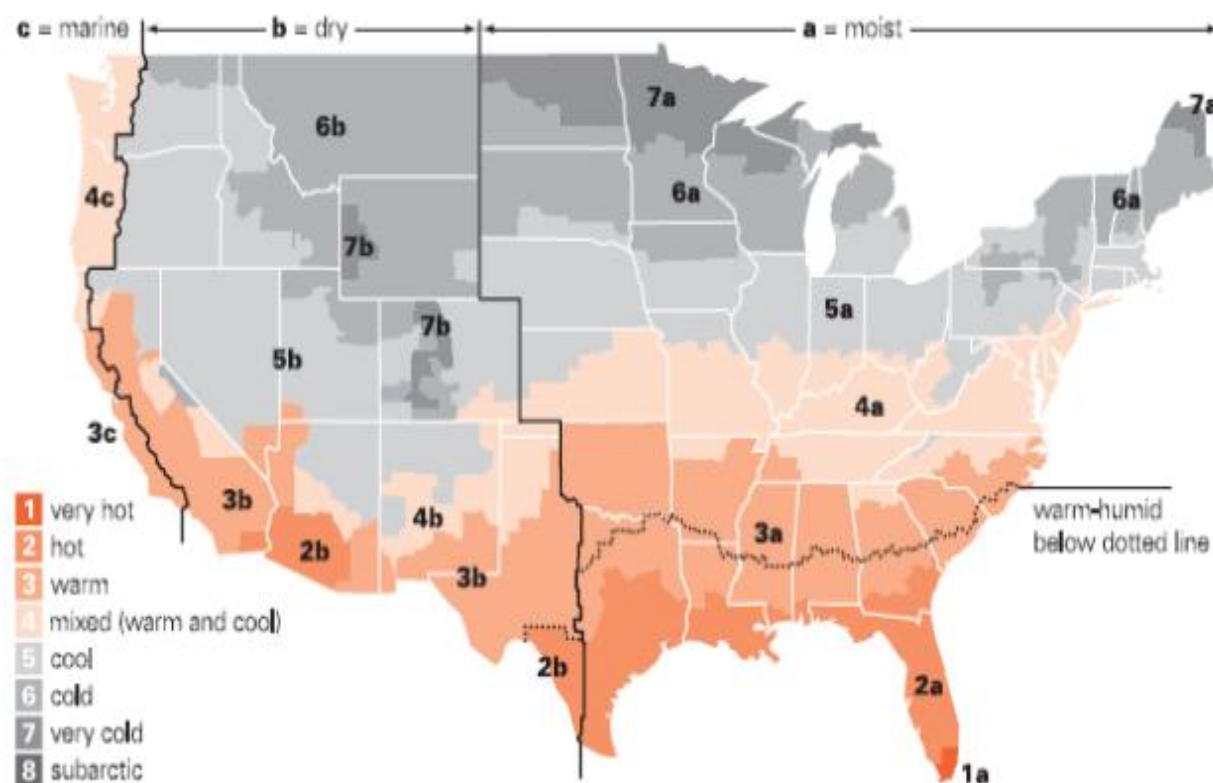
b. Setpoint "A" corresponds to a curve on the psychometric chart that goes through a point at approximately 75°F and 40-percent relative humidity and is nearly parallel to dry-bulb lines at low humidity levels and nearly parallel to enthalpy lines at high-humidity levels.

Quadro 3.1 - Tipos de controlo com respetivo clima e HLS (ASHRAE®, ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2004)

Ao analisarmos o quadro 3.1, encontramos definidos seis géneros de HLS, com diferentes opções, com o objetivo do controlo se ajustar melhor ao tipo de clima das instalações:

- O primeiro género define o ponto HLS através da Temperatura de Bolbo Seco Fixa, ou seja, o economizador é desligado quando a temperatura de bolbo seco excede o valor fixo definido.
- No segundo género, Diferencial da Temperatura de Bolbo Seco, o FC é desligado quando a temperatura de bolbo seco exterior é excede a temperatura de bolbo seco do ar de retorno.
- No terceiro tipo de controlo, Entalpia Fixa, o economizador desliga-se quando a entalpia exterior ultrapassa um determinado valor fixo de entalpia.
- No quarto género, Controlo Eletrónico da Entalpia, o FC é desativado quando o ponto formado pela temperatura de bolbo seco exterior e pela Humidade Relativa exterior excedem uma curva pré-definida no diagrama psicrométrico.
- No seguinte tipo, Diferencial de Entalpia, a desativação é feita quando a entalpia exterior excede a entalpia do ar de retorno.
- No último tipo de controlo, Temperatura de Ponto de Orvalho e Temperatura de Bolbo Seco, o economizador é desligado quando a temperatura de bolbo seco exterior ou a temperatura de ponto de orvalho exterior excedem um determinado valor.

Todos estes modos de operação do FC são adequados aos vários tipos de clima, ou seja, mediante o clima da região, o tipo controlo é definido tendo em conta o que melhor se adequa às condições exteriores do ar. No quadro 3.1 podemos observar os tipos de controlo do FC para os diferentes climas dos EUA representados na figura 3.6.



Not shown: Hawaii, Guam, Puerto Rico, and the Virgin Islands in Zone 1a. Alaska lies in Zones 7 and 8, but ASHRAE Standard 90.1–2004 does not further describe these regions as moist, dry, or marine (a, b, or c).

Figura 3.6 - Regiões dos EUA e respetivas características climáticas (Trane®, 2006)

Como os EUA apresenta uma vasta variedade de climas, será possível estabelecer uma relação com os climas de Portugal, e utilizar o quadro 3.1 na seleção do tipo de controlo que melhor se aplica às várias condições exteriores do nosso país.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger que se encontra referenciada no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a área continental do nosso país é caracterizado essencialmente por um clima Temperado que se subdivide em dois géneros principais (figura 3.7):

- **Csa** - Clima temperado com Verão quente e seco nas regiões interiores do vale do Douro, assim como nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela (exceto no litoral oeste do Alentejo e Algarve)
- **Csb** - Clima temperado com Verão seco e suave, em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral oeste do Alentejo e Algarve.

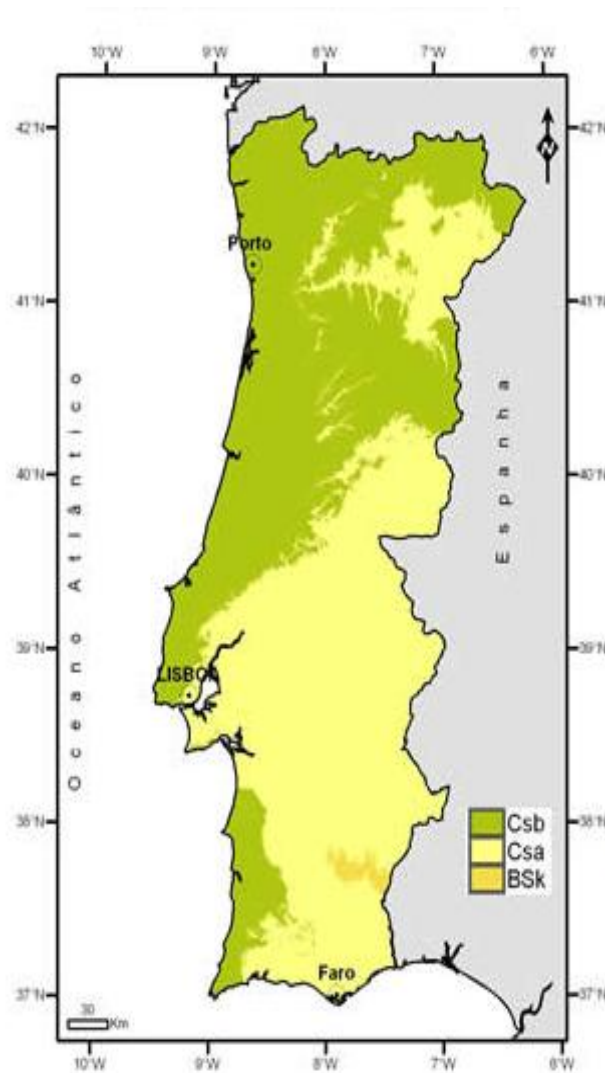


Figura 3.7 - Classificação Köppen-Geiger para o território Português (Instituto Português do Mar e da Atmosfera)

Para podermos associar a Norma ASHRAE 90.1-2004 ao clima português é necessário encontrar uma zona climática em Portugal semelhante a uma zona nos EUA. Na figura 3.8 é possível observar a classificação de Köppen-Geiger para os géneros climáticos dos EUA.

A partir desta classificação podemos atribuir a um género de clima em Portugal a um dos EUA, de forma a definirmos o tipo de controlo mais eficiente e o respetivo HLS, com base na informação disponível na Norma ASHRAE 90.1-2004.

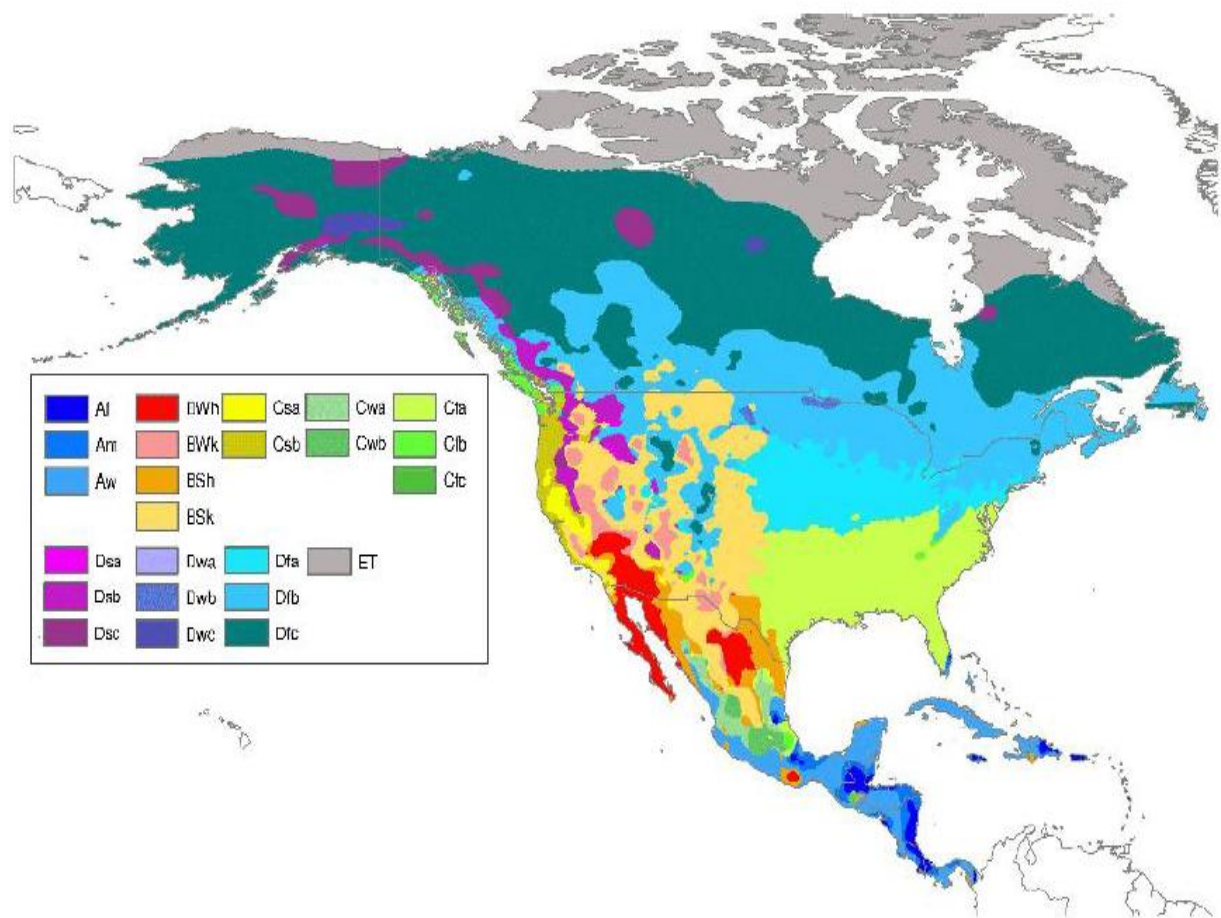


Figura 3.8 - Classificação de Köppen-Geiger para o clima dos EUA (Peel, 2011)

Outro fator importante é a necessidade de efetuar leituras das condições de temperatura e/ou entalpia para um correto funcionamento do FC. Esta aquisição de dados poderá ser feita mediante dois métodos:

- Leitura da Temperatura de Bolbo Seco
- Leitura de HR e Temperatura de Bolbo Seco

Se no primeiro processo resume-se a uma leitura de um valor com o respetivo equipamento, no segundo método a combinação dos dados obtidos através do sensor de humidade e do sensor da temperatura de bolbo seco, permite-nos obter a entalpia que será a nossa referência neste método.

Na figura 3.9 podemos observar a linha 4 que identifica os valores máximos das condições de ar novo, para o funcionamento do FC se a opção for a temperatura de bolbo seco.

Toda a área à esquerda desta linha é passível de ser utilizada com poupança de energia, se o método utilizado for o primeiro. Se utilizarmos o segundo método, toda a área abaixo da linha 3 e à esquerda da linha 7, pode ser utilizada como condições de ar exterior, e com poupança energética do economizador. Neste método a linha 3 representa os valores máximos possíveis. No quadro 3.2 podemos observar as vantagens e desvantagens de cada método de leitura.

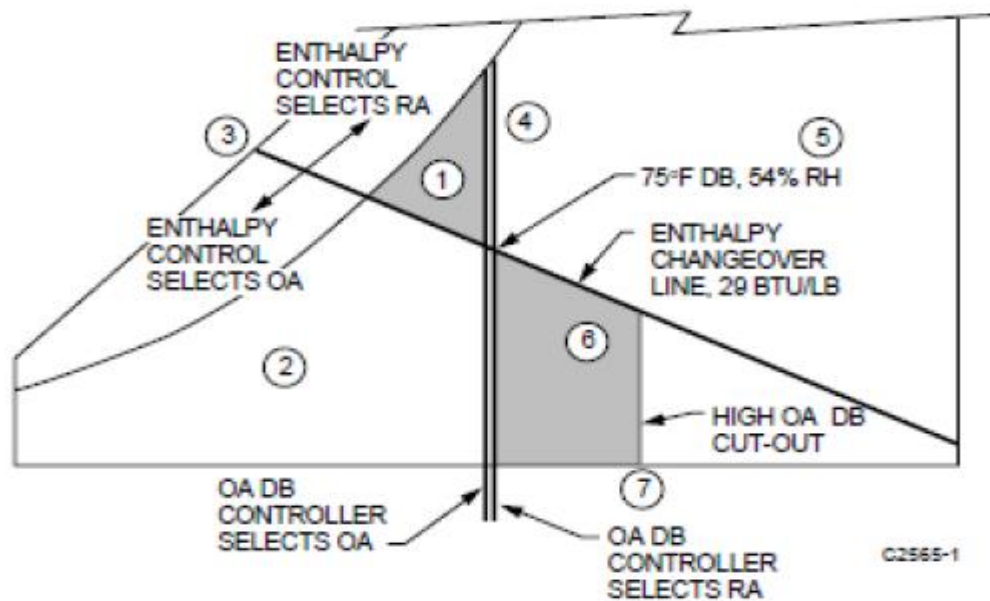


Figura 3.9 - Diferenças na carta psicrométrica dos dois métodos (Honeywell, 2011)

Leitura da temperatura de bolbo seco	Leitura da HR e temperatura de bolbo seco
As áreas possíveis de utilização das condições de ar novo, no FC são as zonas 1 e 2	As áreas possíveis de utilização das condições de ar novo, no FC são as zonas 2 e 6 delimitadas pela linha 7
A área 1 de alta entalpia e baixa temperatura só deve ser utilizada no FC com este método.	A área 6 de baixa entalpia e alta temperatura também só deverá ser utilizada nesta forma de aquisição de dados

Equipamento relativamente acessível e pouco dispendioso	Sensores de humidade mais dispendiosos
Típico em sistemas de pequena capacidade devido ao custo do sensor de humidade	Devido à precisão elevada do sensor de humidade, é fundamental uma manutenção periódica

Quadro 3.2 - Comparação entre 2 métodos aquisição de dados

Em suma, para um correto funcionamento de um FC é necessário ter em conta quatro aspetos fundamentais:

- HLS correto, este valor é definido mediante determinadas variáveis e um valor muito baixo irá provocar um fecho prematuro do registo, diminuindo a poupança, do mesmo modo que um valor muito alto, vai provocar um maior consumo energético na bateria de arrefecimento.
- Outro fator importante é a seleção do tipo de controlo que melhor se ajusta ao clima da instalação. Em locais de climas secos um controlo por temperatura de bolbo seco terá um melhor desempenho e conforto, tendo em conta que a humidade não interfere nas condições da sala, evitando o gasto desnecessário com a compra de sensores de humidade. Por outro lado em espaços com climas húmidos terá de se recorrer obrigatoriamente ao controlo da entalpia, com sensores de temperatura e de humidade, para evitar locais de humidade excessiva.
- Sendo os sensores parte essencial deste processo, teremos de ter em conta e sua manutenção para os manter sempre funcionais, evitando erros de leitura que poderão originar deficiente posicionamento dos registos com consequência de gastos energéticos desnecessários ou poupanças abaixo do possível.
- Da mesma forma os registos de caudal detêm uma função fulcral pelo que necessitam também de uma manutenção eficaz para o correto funcionamento

3.3 Software Utilizado no Estudo

Para obtenção de dados essenciais para este estudo foi utilizado o programa da Carrier, Hourly Analysis Program 4.90 (HAP). A partir do software obtiveram-se as potências necessárias ao sistema em função das diferentes percentagens de inclusão de ar novo. Tendo em conta que o nosso local de estudo é uma nave industrial com especificidades muito próprias, descreve-se de seguida os inputs inseridos no software e os outputs obtidos.

Com o objetivo de aproximar o mais possível os resultados computacionais da realidade, foram utilizados alguns valores de referência, usados pela empresa que realizou o projeto de beneficiação do sistema de climatização a que se refere o capítulo anterior. Desta forma, os resultados do estudo serão os mais fidedignos possíveis de uma realidade já existente com as suas características muito próprias.

3.3.1 Condições Climatéricas


A primeira etapa do software consiste na definição das condições climatéricas da região em estudo de forma a avaliar as variações das cargas térmicas pelas envolventes.

No site do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) obtive a aplicação “CLIMAS-SCE”, que mediante a seleção do município e a altitude do local, elabora um ficheiro com as estatísticas climatológicas e o ano meteorológico de referência respetivo para executar simulações dinâmicas de sistemas e edifícios. O município definido foi a Figueira da Foz e a altitude é a referida no projeto, ou seja, 70m (figura 3.10).

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Figueira da Foz



preparar ficheiro

SCE (formato para Cálculo Dinâmico Simplificado)

Zona climática

NUTS 3: Baixo Mondego
Latitude: 40,3 °N (nominal)
Longitude: 8,6 °W (nominal)
Altitude: 67 m (referência)

Local específico

Município: Figueira da Foz
Altitude: 70 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	6,3	6,3 meses
T média:	9,7	9,7 °C
Graus-dia:	1304	1307 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	20,9 °C

Zonas de verão e inverno

V	I
2	2

Figura 3.10 - Aplicação CLIMAS-SCE (www.lneg.pt)

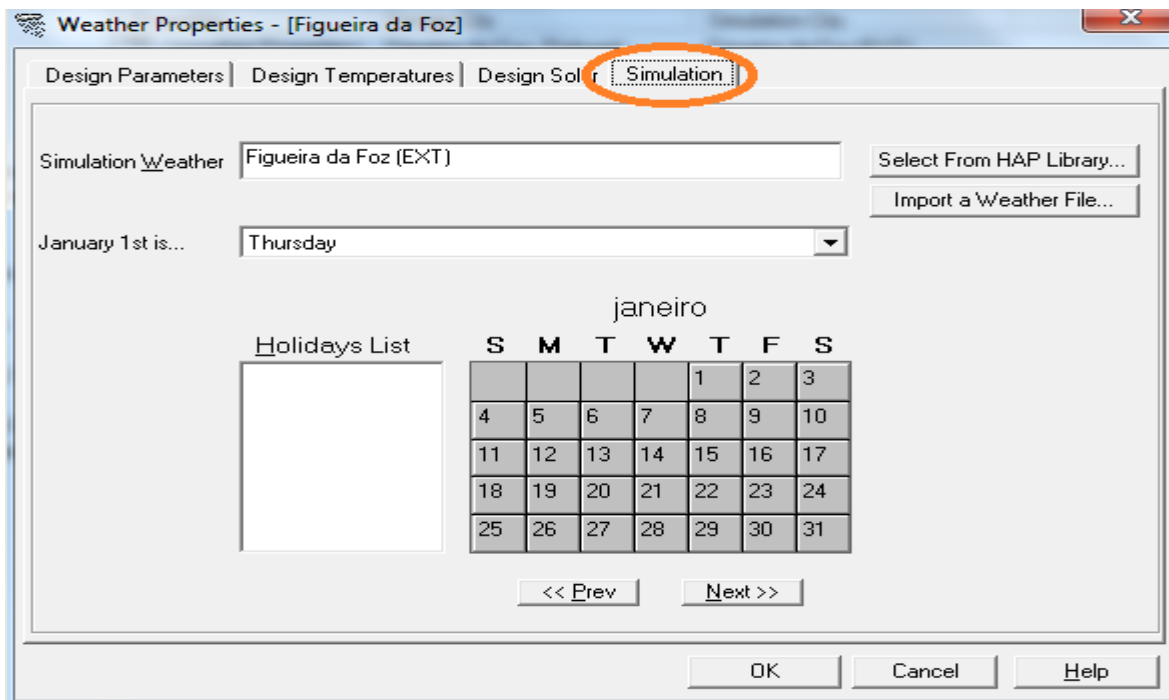


Figura 3.11 - Validação do ficheiro com ano de referência no HAP

Após a validação do ficheiro com o ano tipo (figura 3.11), foram definidos alguns parâmetros com base nas informações do projeto, informações do local, documentação especializada ou referências do software:

- **Latitude:** 39,0° (valor definido no projeto)
- **Longitude:** 8,4° (valor obtido no local)
- **Altitude:** 70 m (valor definido no projeto)
- **Temperatura de bolbo seco extrema de projeto no verão:** 32,1°C (valor definido no projeto)
- **Temperatura de bolbo húmido extrema de projeto no verão:** 21,5°C (valor definido no projeto)
- **Amplitude térmica:** 10°C (valor definido no projeto)
- **Temperatura de bolbo seco extrema de projeto no inverno:** 4,6°C (valor obtido na Ashrae Handbook of Fundamentals, 2017, no quadro 3.3, no parâmetro com 99.6% de ocorrência durante o ano para Lisboa, conforme é definido no HAP)
- **Temperatura de bolbo húmido extrema de inverno:** 1,0°C (valor obtido da temperatura de bolbo seco extrema de inverno e 50% HR, conforme é definido no HAP)

Nos restantes valores que não temos informação do nosso local de estudo, o software define por defeito valores médios típicos para cada parâmetro como está representado na figura 3.12.

2017, ashrae fundamental handbook ip.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas 2017, ashrae funda... x

KRAKOW BALICE	50.078N	19.785E	791	3.5	8.8	86.1	68.7	82.6	67.2	79.3	65.7	70.5	82.3	68.9	79.9	66.5	100.4	75.5	64.9	94.8	73.1	21.4	18.6	16.3	6527	233
LODZ	51.733N	19.400E	623	5.5	10.6	85.9	67.4	82.4	65.9	79.1	64.4	69.7	80.6	68.0	78.4	66.3	99.0	73.6	64.5	93.1	71.7	20.2	17.7	15.6	6650	228

(Click here to access additional station tables on CD-ROM.)

This file is licensed to John Murray (John9@gmail.com). Publication Date: 6/1/2017

(Click here to access additional station tables on CD-ROM.)

Meaning of acronyms:

DB: Dry bulb temperature, °F

MCWB: Mean coincident wet bulb temperature, °F

Lat: Latitude, °

DP: Dew point temperature, °F

MCDB: Mean coincident dry bulb temperature, °F

Long: Longitude, °

HR: Humidity ratio, grains of moisture per lb of dry air

HDD and CDD 65: Annual heating and cooling degree-days, base 65°F, °F-day

Elev: Elevation, ft

WS: Wind speed, mph

Station	Lat	Long	Elev	Heating DB		Cooling DB/MCWB			Evaporation WB/MCDB		Dehumidification DP/HR/MCDB		Extreme Annual WS			Heat/Cool Degree-Days										
				99.6%	99%	0.4%	1%	2%	0.4%	1%	0.4%	1%	1%	2.5%	5%											
																	DB / MCWB	DB / MCWB	DB / MCWB	WB / MCDB	WB / MCDB	DP / HR / MCDB	DP / HR / MCDB			
LUBLIN KADAWIEC	51.217N	22.400E	787	2.2	8.0	84.3	68.4	80.9	67.2	77.8	65.5	70.6	80.7	68.7	78.1	67.0	102.3	75.9	65.3	96.1	73.2	19.1	16.6	14.4	6967	191
POZNAN LAWICA	52.421N	16.826E	308	7.6	13.0	86.4	66.9	82.9	65.5	80.1	64.3	69.6	81.7	67.9	79.0	66.0	96.9	72.8	64.3	91.3	71.6	21.5	18.8	16.6	6338	247
RACIBORZ	50.050N	18.200E	676	4.8	10.4	85.9	68.3	82.4	66.8	79.1	65.5	70.2	81.1	68.5	78.9	66.6	100.3	75.1	64.9	94.6	73.1	22.3	19.3	16.7	6301	220
SZCZECIN	53.400N	14.617E	23	10.4	15.8	84.4	68.0	80.8	66.4	77.6	65.1	70.5	80.4	68.5	77.2	67.1	99.8	74.7	65.4	93.9	72.6	21.0	18.6	16.5	6233	179
TERESPOL	52.067N	23.617E	449	-0.9	5.8	85.7	68.8	82.1	67.5	79.0	65.5	71.1	81.6	69.1	78.6	67.5	102.9	75.4	65.8	96.7	73.5	16.6	14.5	13.1	6933	219
WARSZAWA OKECIE	52.166N	20.967E	362	3.6	9.6	85.9	68.5	82.4	66.7	79.1	64.9	70.5	81.6	68.9	78.8	66.9	100.3	74.6	65.5	95.4	73.2	22.4	19.7	17.5	6620	250
WROCLAW STRACHOWICE	51.103N	16.886E	404	6.9	12.7	86.5	68.0	83.2	66.6	80.0	65.3	70.1	82.0	68.4	79.2	66.3	98.2	74.5	64.6	92.6	72.5	20.3	17.6	15.5	6159	245
Portugal LISBOA	38.767N	9.133W	344	40.3	42.4	92.8	68.6	89.1	67.5	85.4	66.6	70.8	87.0	69.4	83.3	66.6	99.2	72.6	65.5	95.2	72.2	18.7	16.5	14.5	1858	1022
Puerto Rico JOSE APONTE DE LA TORRE AP	18.255N	65.641W	33	68.4	70.0	89.9	78.4	89.4	78.1	88.2	77.7	81.3	86.8	80.6	86.2	79.2	151.9	84.4	78.9	150.1	84.2	18.3	16.6	15.5	0	5760
Puerto Rico LUIS MUÑOZ MARIN INTL	18.433N	66.011W	8	69.7	70.6	91.6	77.4	89.8	77.8	88.9	77.8	80.9	86.6	80.1	86.3	79.1	151.0	83.8	78.3	146.8	83.5	20.5	18.9	17.6	0	5692

Quadro 3.3 – Valor de referência da temperatura de bolbo seco extrema no inverno para Lisboa (Ashrae Handbook of Fundamentals, 2017)

Weather Properties - [Figueira da Foz]

Design Parameters | Design Temperatures | Design Solar | Simulation

Region: Europe
Location: Portugal
City: Figueira da Foz

Latitude: 39.0 deg
Longitude: 8.4 deg
Elevation: 70.0 m

Summer Design DB: 32.1 °C
Summer Coincident WB: 21.5 °C
Summer Daily Range: 10.0 K
Winter Design DB: 4.6 °C
Winter Coincident WB: 1.0 °C

Atmospheric Clearness Number: 1.00
Average Ground Reflectance: 0.20
Soil Conductivity: 1.385 W/m/K
Design Clg Calculation Months: Jan to Dec
Time Zone (GMT +/-): 0.0 hours
Daylight Savings Time: Yes
DST Begins: Mar 26
DST Ends: Oct 29
Data Source:
User Modified

OK Cancel Help

Figura 3.12 - Parâmetros de projeto nas propriedades climáticas (HAP)

3.3.2 Propriedades da Nave Industrial

Apesar do local de estudo se tratar de uma nave industrial ampla com fontes fixas emissoras de calor a laborarem 24h por dia, sete dias por semana, essas fontes tem potências muito diferentes o que levou a fazer uma avaliação global da nave mas subdividindo-a em 3 zonas distintas em função da sua capacidade de emitir calor para a nave. O software permite realizar este estudo, e no fim, obter dados globais sobre o sistema de climatização como um todo. A figura 3.13 define as três subzonas da nave industrial.



Figura 3.13 - Esquema das subzonas na nave industrial

Para a zona da **FL1** e **FL2** os elementos para a base de cálculo retirados do projeto de melhoria do sistema de climatização são os apresentados no quadro 3.4:

Propriedades de Construção da FL1 e FL2	
Paredes	$U = 1,9 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Cobertura exterior (fibrocimento e 10cm de lã de rocha)	$U = 0,39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Área	2505 m^2
Altura do teto falso	6,75 m
Cargas Térmicas Internas da FL1 e FL2	
Ocupação	5 Pessoas
Isolamento térmico devido ao vestuário	$0,8 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
Iluminação	36.000 W (144 lâmpadas de 250 W)

Equipamentos	47 W/m ² (117.36 kW)
Ocupantes	82 W/ocupante (sensível)
Ocupantes	80 W/ocupante (latente)

Quadro 3.4 – Propriedades construtivas e térmicas da nave na FL1 e FL2

No quadro principal das Propriedades da Nave Industrial no HAP (figura 3.14) foi definido a área, a altura e o parâmetro que se refere ao “peso” da construção, ou seja, diz respeito à inércia térmica do edifício. Foi definido uma construção “leve” que corresponde a uma baixa inércia térmica, típica de edifícios industriais. O outro valor definido foi a percentagem de ar novo insuflado no edifício e foi estabelecido de início o valor de 12% que corresponde aos 40.000 m³/h que o sistema de climatização recebe atualmente através das duas UTA. Este valor é o mínimo que o sistema pode receber e é através deste valor que vai variar a percentagem de entrada de ar, mantendo todas as outras variáveis constantes, de forma a poder analisar as respetivas variações das potências.

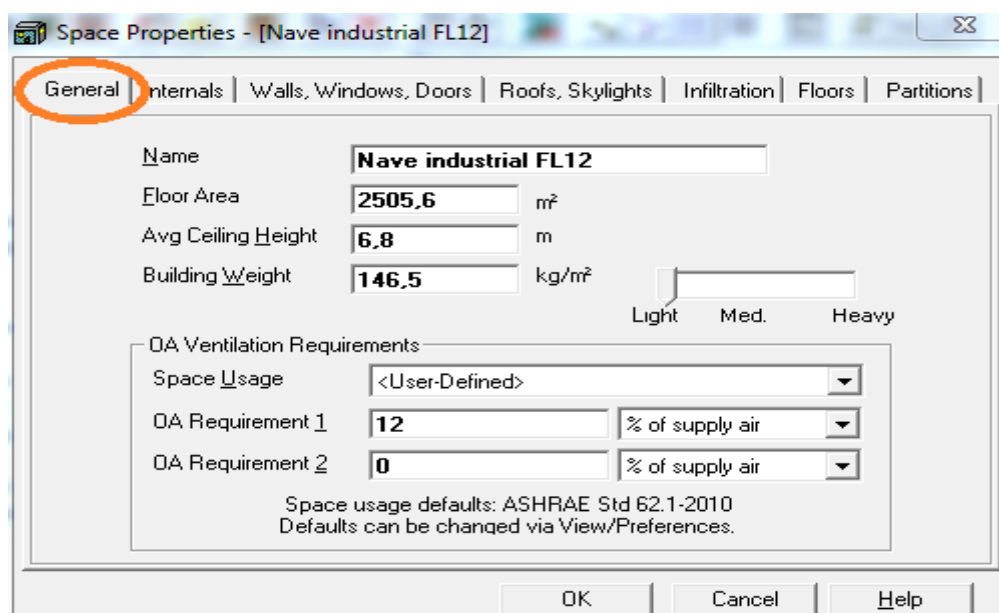


Figura 3.14 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL 2_Quadro geral

No quadro para definir as cargas internas, da figura 3.15, a primeira opção diz respeito à iluminação e foi considerada do tipo embutida no teto falso e isolada sem ventilação. Este parâmetro regula-se por um horário definido que estipula o funcionamento durante toda a semana a 90% da capacidade (figura 3.16). Apesar das luzes estarem ligadas o dia todo, cerca de 10% estão apagadas devido a avaria.

O segundo parâmetro refere-se às cargas térmicas internas, provocadas pelos equipamentos elétricos e também aqui o horário que regula os equipamentos define 80% para toda a semana conforme a figura 3.17. Estes 80% dizem respeito à frequência de paragem destas máquinas para mudanças de formatos. O último parâmetro refere-se às pessoas que laboram nas máquinas e o horário estipula uma presença de 100% porque a secção trabalha por turnos, ou seja, as máquinas estão sempre ocupadas (figura 3.18).

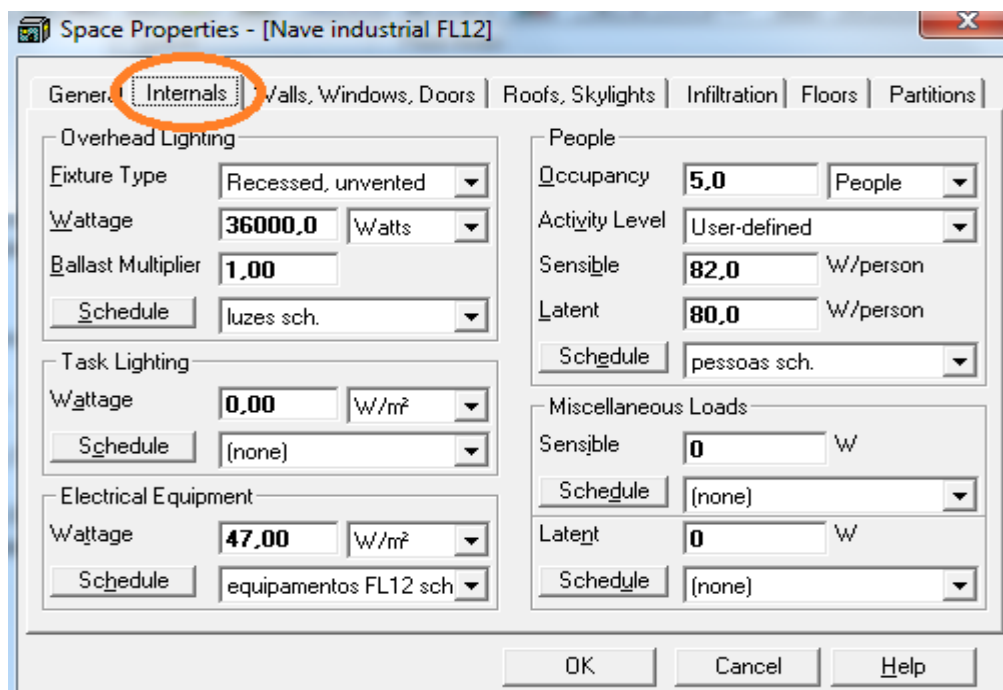


Figura 3.15 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL 2_Cargas internas

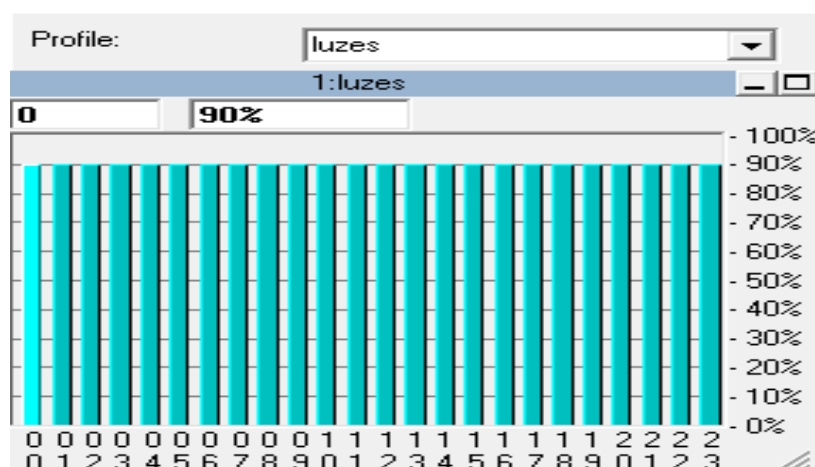


Figura 3.16 - Horário das luzes

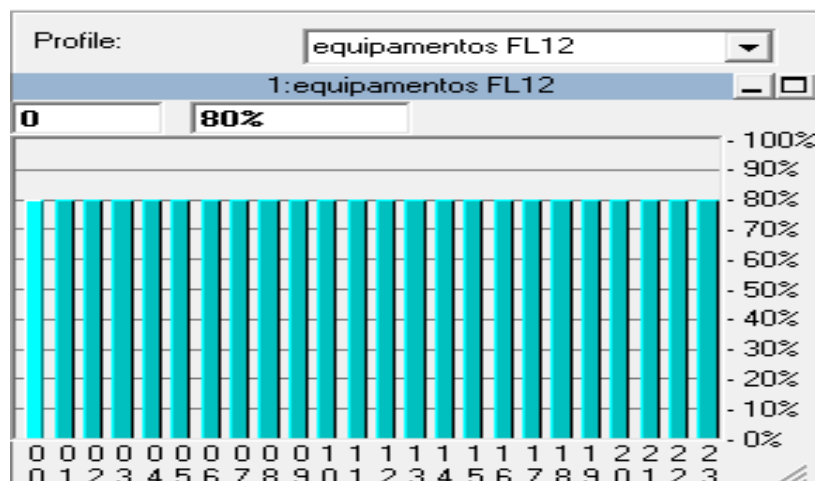


Figura 3.17 - Horário das máquinas FL1 e FL2

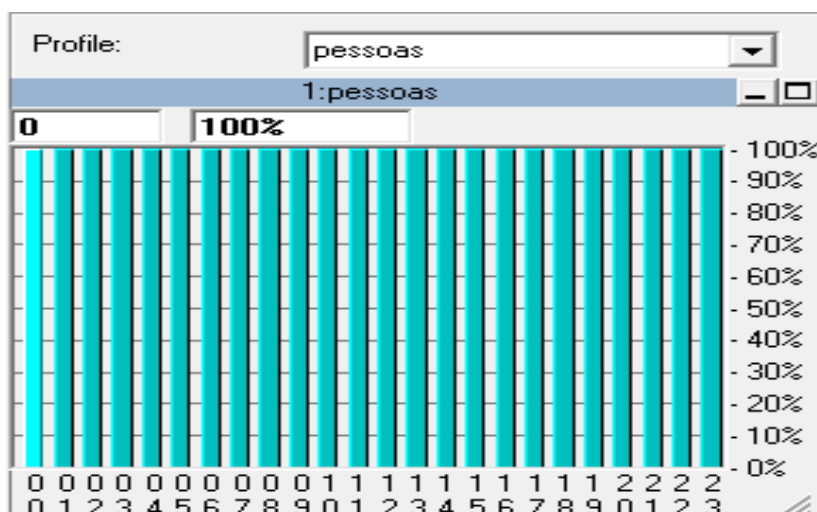


Figura 3.18 - Horário da ocupação das pessoas

A figura 3.19 refere-se às paredes, portas e janelas que têm contacto com o exterior. Só nesta subzona da nave é que existe estas condições porque as restantes subzonas são constituídas por paredes interiores que separam a nave industrial de zonas não climatizadas.

Na primeira linha foi caracterizado a exposição geográfica a que se encontra a parede, a respetiva área e que é formada por uma porta e uma janela. De seguida na figura 3.21 foi definido a composição térmica da parede, ou seja, a cor e o coeficiente de transmissão térmico. Posteriormente na figura 3.20 foram inseridos as dimensões dos vãos envidraçados e o seu coeficiente de transmissão térmica. Este valor foi retirado do ITE 50 (Informação Técnica de Edifícios), para vidro duplo de janela fixa com 6 mm de espessura da lâmina de ar. Por fim na figura 3.22 é definido as dimensões da porta, a sua constituição, com 90% de vidro e 10% de alumínio e os respetivos coeficientes de transmissão térmica.

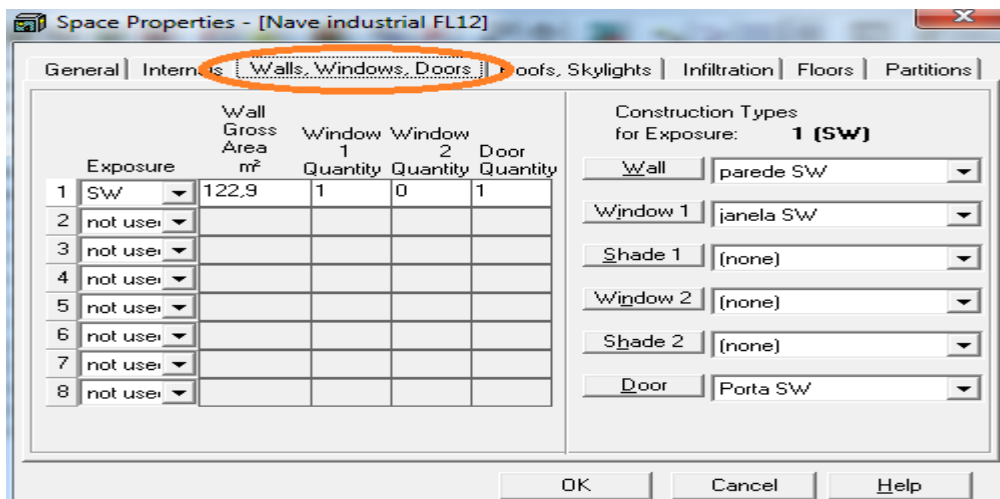


Figura 3.19 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Paredes, janelas e portas

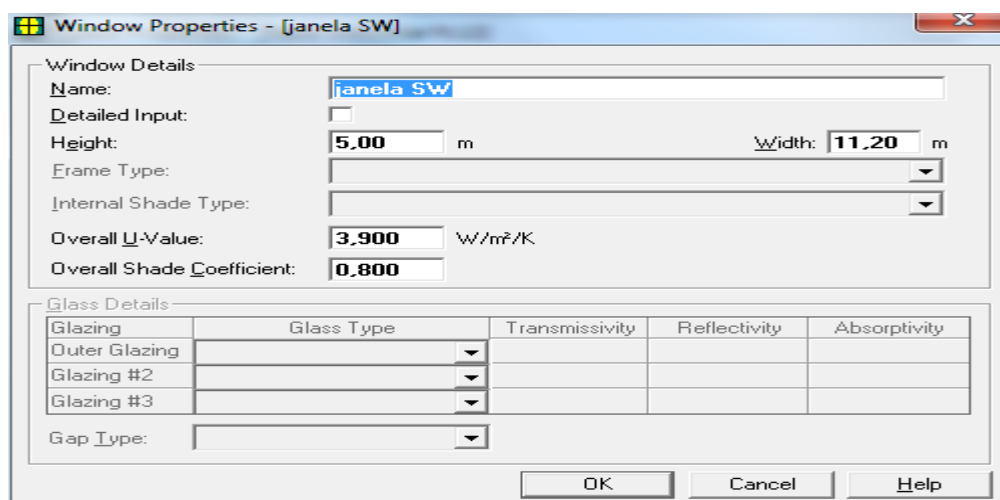


Figura 3.20 - Propriedades da janela

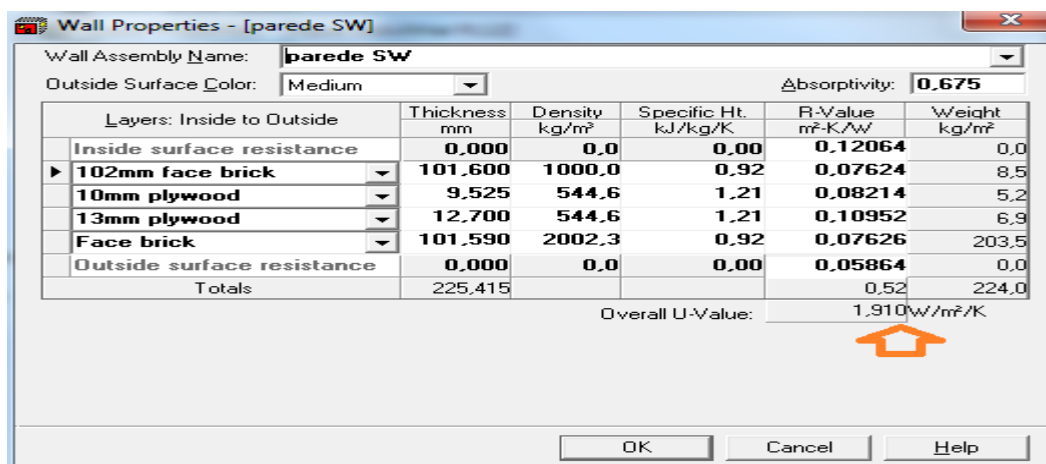


Figura 3.21 - Propriedades da parede

Door Properties - [Porta SW]

Door Details

Name: **Porta SW**

Gross Area: **4.0** m²

Door U-Value: **1.703** W/m²/K

Glass Details

Glass Area: **3.8** m²

Glass U-Value: **3.900** W/m²/K

Glass Shade Coefficient: **0.800**

Glass Shaded All Day: ☒

OK Cancel Help

Figura 3.22 - Propriedades da porta

As figuras 3.23 e 3.24 referem-se à cobertura horizontal, caracterizando a sua dimensão e respectivas propriedades térmicas.

Space Properties - [Nave industrial FL12]

General Internals Walls, Windows, Doors **Roofs, Skylights** Infiltration Floors Partitions

Construction Types for Exposure: **1 (H)**

Exposure	Roof Gross Area m²	Roof Slope (deg)	Skylight Quantity
1 H	2505,6		0
2 not used			
3 not used			
4 not used			

Roof: **telhado**

Skylight: **Sample Window Assembly**

OK Cancel Help

Figura 3.23 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Cobertura horizontal

Roof Properties - [telhado]

Roof Assembly Name: **telhado**

Outside Surface Color: **Medium**

Absorptivity: **0.675**

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m²-K/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
Steel deck	851.000	7833.0	0.50	0.00002	6.6
RSI-2.5 board insulation	49.500	33.0	0.92	2.38338	1.6
25mm stucco	2.000	1860.0	0.84	0.00277	3.7
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.05864	0.0
Totals	902.500			2.57	11.9

Overall U-Value: **0.390** W/m²/K

OK Cancel Help

Figura 3.24 - Propriedades da cobertura horizontal

As duas últimas etapas desta subzona dizem respeito ao piso e às paredes internas que fazem a divisória para zonas não climatizadas (partições). No piso foi definido a sua dimensão e o tipo de piso, ou seja, neste caso é uma laje sobre o piso térreo conforme a figura 3.25. Nas partições foram inseridas as suas dimensões e as temperaturas máximas e mínimas que as zonas não climatizadas podem atingir (figura 3.26).

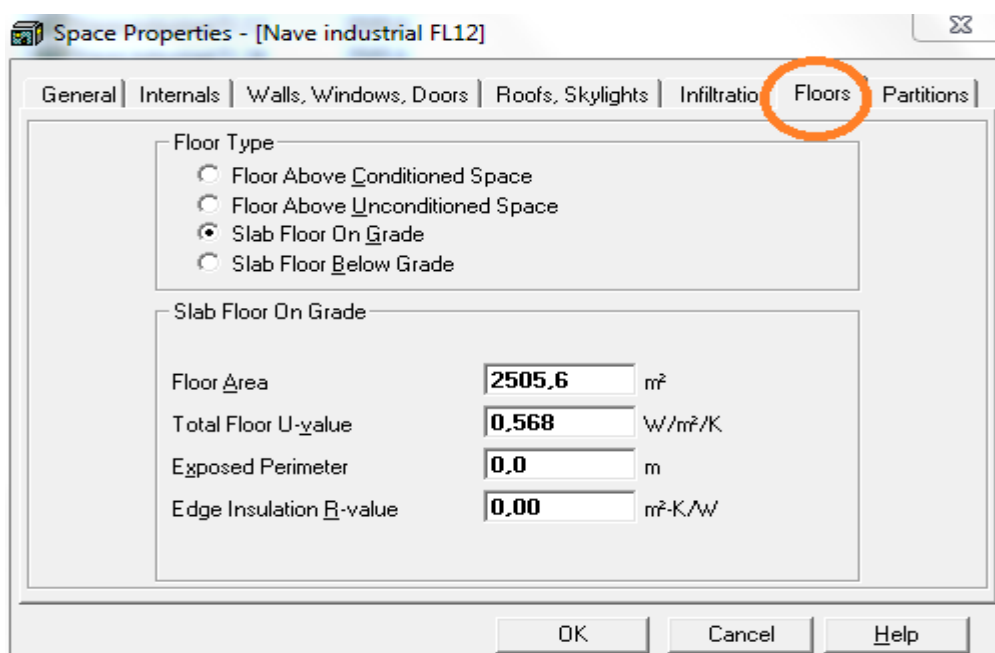


Figura 3.25 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Piso

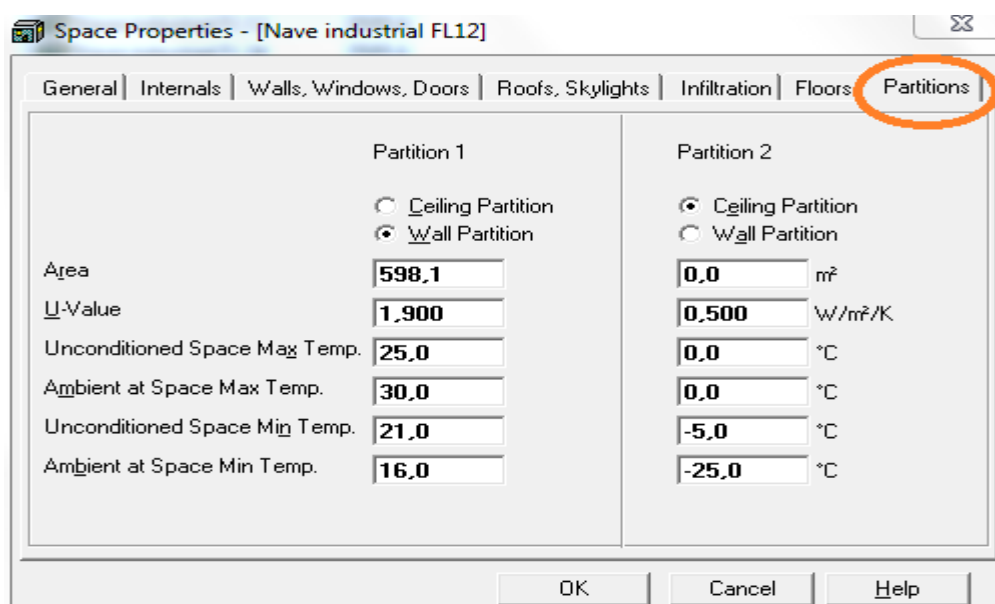


Figura 3.26 - Propriedades da Nave Industrial da FL1 e FL2_Partições

Na subzona da FL3 e FL4 as diferenças são poucas em relação à subzona da FL1 e FL2. A principal diferença reside nas cargas internas dos equipamentos elétricos, com um aumento significativo na produção de calor como está definido na figura 3.27. Outra diferença é o horário que caracteriza o tempo de laboração das máquinas que altera para 90%, tendo em conta que nestas cortadoras são inseridas ordens de fabrico com uma intensidade inferior de mudanças, para uma maior rentabilização destas máquinas de produção (figura 3.28). Por fim a última diferença diz respeito as envolventes, uma vez que nesta área não existem paredes em contacto com o exterior, nem janelas, nem portas (figura 3.29), só existem partições, ou seja, paredes internas que dividem a nave industrial de áreas não climatizadas conforme figura 3.30. No quadro 3.5 estão todos os dados necessários para o preenchimento das características construtivas e térmicas desta subzona.

Propriedades de Construção da FL3 e FL4	
Paredes	$U = 1,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
Cobertura exterior (fibrocimento e 10cm de lã de rocha)	$U = 0,39 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
Área	2505 m^2
Altura do teto falso	$6,75 \text{ m}$
Cargas Térmicas Internas da FL3 e FL4	
Ocupação	5 Pessoas
Isolamento térmico devido ao vestuário	$0,8 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$
Iluminação	36.000 W (144 lâmpadas de 250 W)
Equipamentos	213 W/m^2 (541.32 kW)
Ocupantes	82 W/ocupante (sensível)
Ocupantes	80 W/ocupante (latente)

Quadro 3.5 - Propriedades construtivas e térmicas da nave na FL3 e FL4

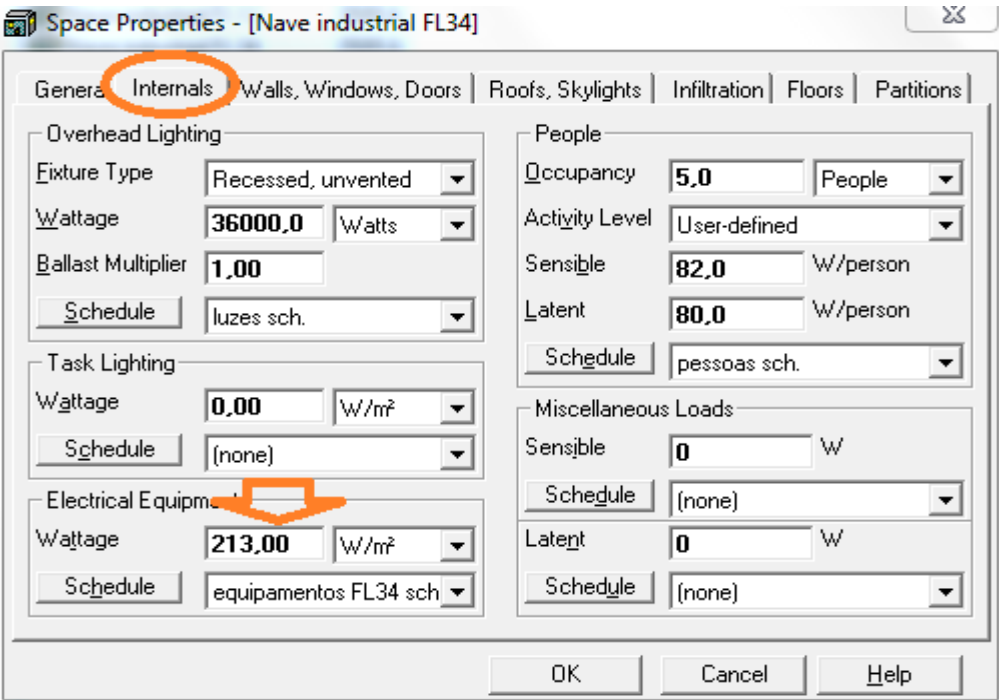


Figura 3.27 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Cargas internas

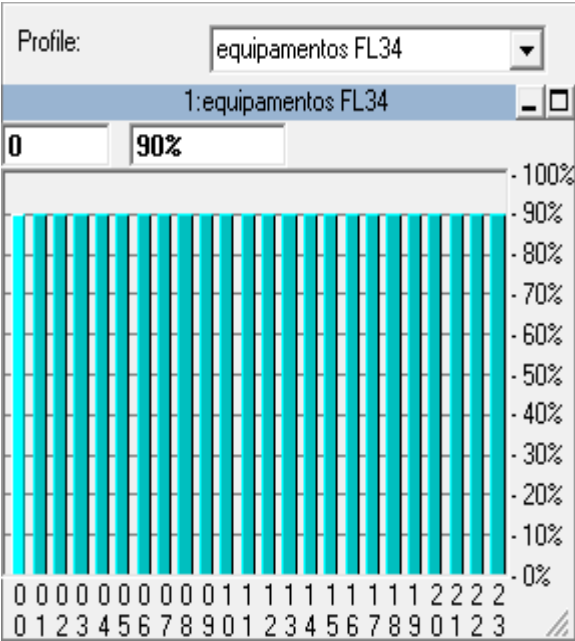


Figura 3.28 - Horário das máquinas FL3 e FL4

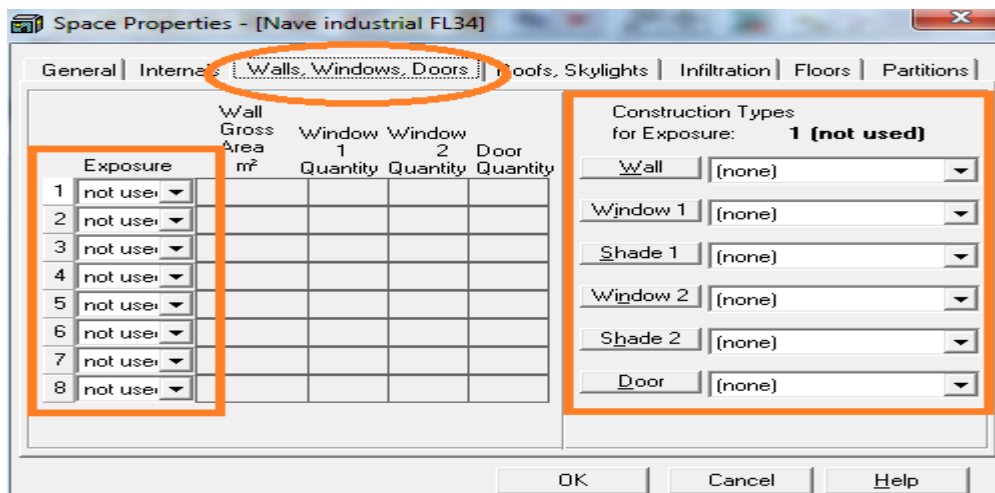


Figura 3.29 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Paredes, janelas e portas

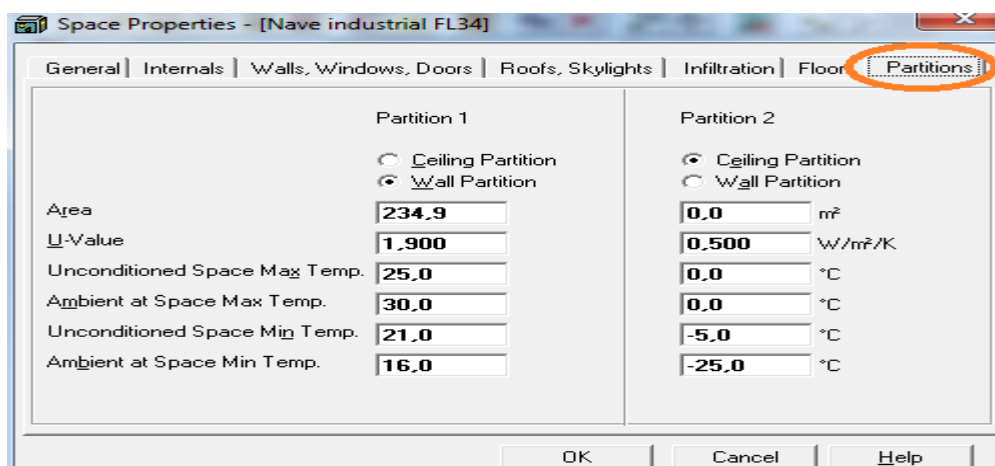


Figura 3.30 - Propriedades da Nave Industrial da FL3 e FL4_Partições

A última subzona caracterizada no quadro 3.6 é formada por uma área diferente (figura 3.31), que se traduz no piso e na cobertura horizontal, por uma ocupação menor, por uma iluminação maior e por uma carga térmica interna oriunda dos equipamentos elétricos muito inferior (figura 3.32). Além disso o horário de laboração das máquinas é mais reduzido devido ao maior número dos tempos de paragem destes equipamentos como é referido na figura 3.33 e também nesta subzona só existem partições, sem portas e sem janelas (figura 3.34).

Propriedades de Construção das RW	
Paredes	$U = 1,9\text{W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Cobertura exterior (fibrocimento e 10cm de lã)	$U = 0,39\text{W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

de rocha)	
Área	5011 m ²
Altura do teto falso	6,75 m
Cargas Térmicas Internas das RW	
Ocupação	4 Pessoas
Isolamento térmico devido ao vestuário	0,8 m ² °C/W
Iluminação	72.000 W (144 lâmpadas de 250 W)
Equipamentos	10 W/m ² (541.32 kW)
Ocupantes	82 W/ocupante (sensível)
Ocupantes	80 W/ocupante (latente)

Quadro 3.6 - Propriedades construtivas e térmicas da nave nas RW

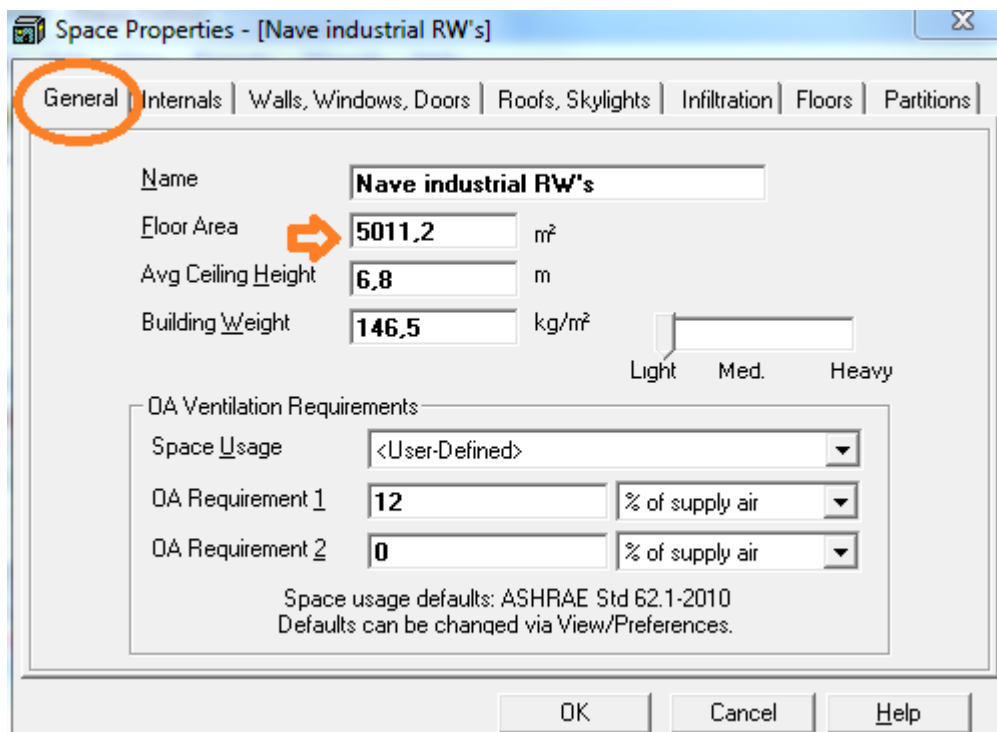


Figura 3.31 - Propriedades da Nave Industrial das RW_Quadro geral

Figura 3.32 - Propriedades da Nave Industrial das RW_Cargas internas

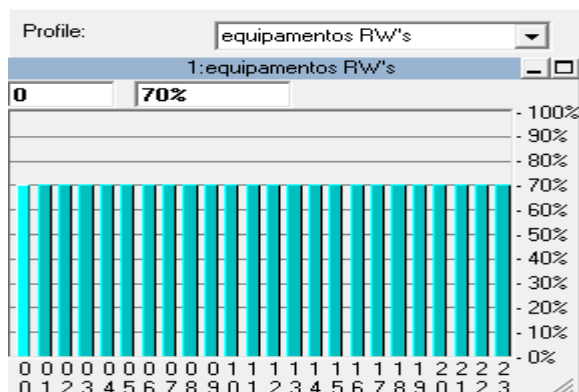


Figura 3.33 - Horário das máquinas RW

Figura 3.34 - - Propriedades da Nave Industrial das RW_Partições

3.3.2 Propriedades do Sistema de Climatização

A última etapa do software consiste na definição das condições do sistema de climatização. Como já foi acima referido o nosso sistema em estudo é um VAC, com insuflação numa única zona, alimentado com ar tratado oriundo de duas UTA, em que a água gelada que garante a permuta de calor nas baterias de arrefecimento provém de um chiller. Estes são os inputs do Quadro Geral desta etapa apresentados na figura 3.35.

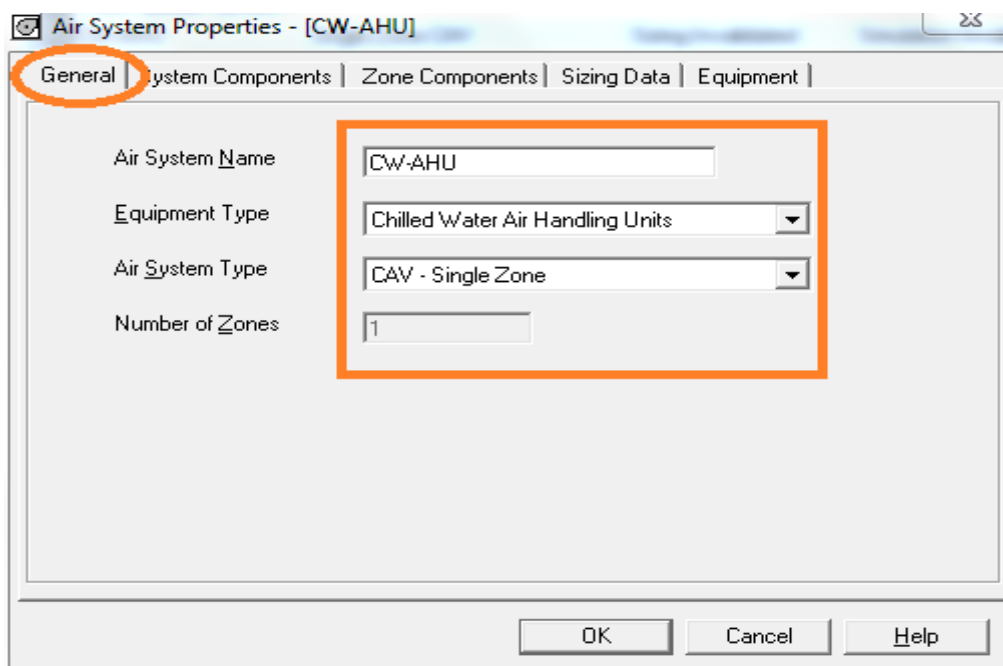


Figura 3.35- Propriedades do Sistema de Climatização_Quadro geral

No separador seguinte, Componentes do Sistema, são disponibilizados onze opções possíveis para o nosso sistema. A primeira opção contém informação sobre a ventilação do ar exterior, os critérios de dimensionamento do fluxo de ar e os respetivos controlos. Em relação ao controlo a opção definida foi o controlo constante típico dos sistemas CAV. Quanto ao critério de dimensionamento foi definido a soma das necessidades de cada espaço, mesmo que no nosso caso seja só um espaço, esta opção é a que mais se enquadra nos sistemas CAV. O registo para situações de espaços desocupados está desativado uma vez que a nave tem ocupação constante. Todos estes inputs estão representados na figura 3.36.

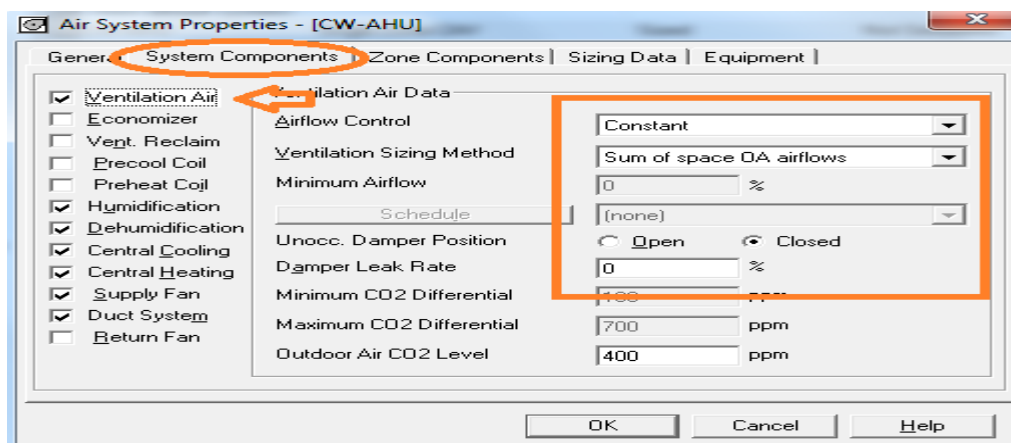


Figura 3.36 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Ventilação ar exterior

Nas figuras 3.37 e 3.38 foram definidos os parâmetros de humidificação e desumidificação, estabelecendo o limite máximo de 50% HR, ou seja, a partir daí inicia-se a desumidificação no sistema. De forma oposta o limite mínimo é de 45% HR, sinal para o início da humidificação.

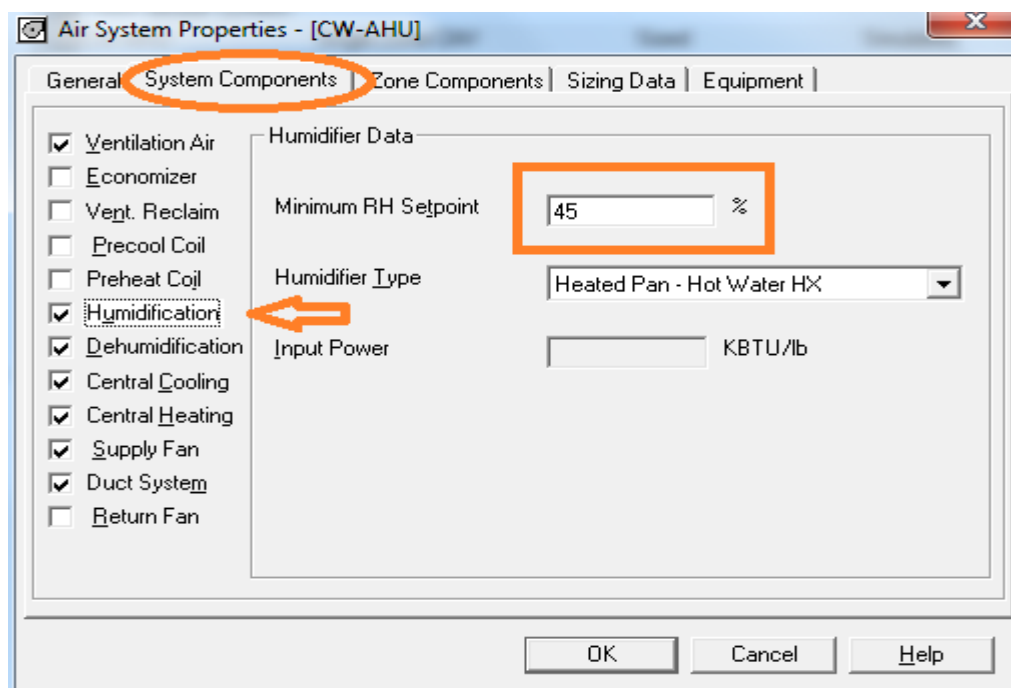


Figura 3.37 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Humidificação

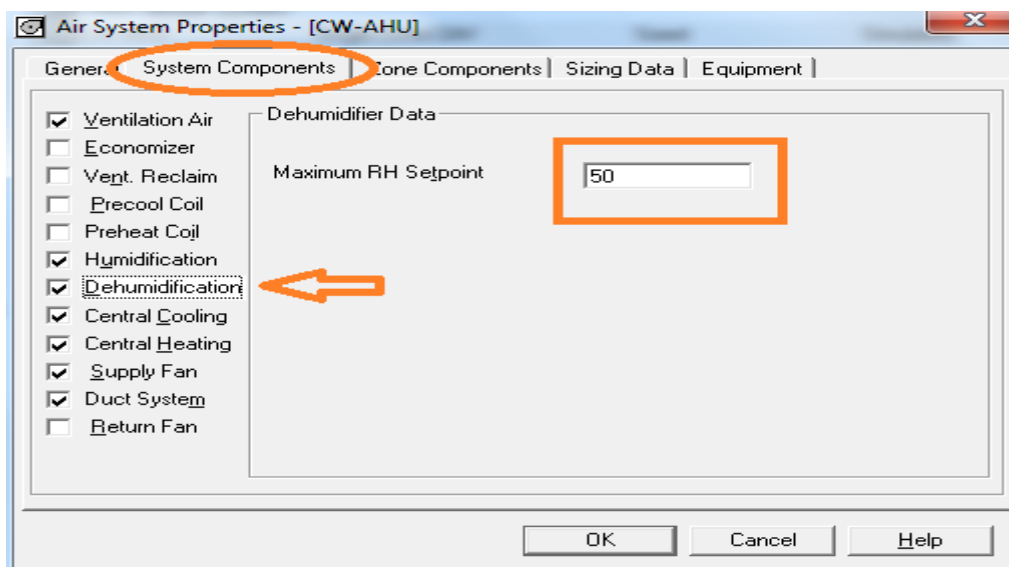


Figura 3.38 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Desumidificação

A figura 3.39 refere-se às baterias de arrefecimento, onde foi estipulado a temperatura de insuflação mínima possível, ou seja, a capacidade máxima dos módulos das baterias de arrefecimento (12,5°C). Em virtude de não ser conhecido o fator de by-pass das baterias foi definido o valor referência utilizado nestes projetos. O processo de controlo é feito mediante o aumento da carga térmica na nave. À medida que a temperatura sobe na nave é efetuado o ajuste necessário na central de arrefecimento, por forma a anular o incremento e estabelecer o valor de projeto (23°C). Com a seleção deste tipo de controlo é necessário definir a temperatura máxima de arrefecimento (12,5°C).

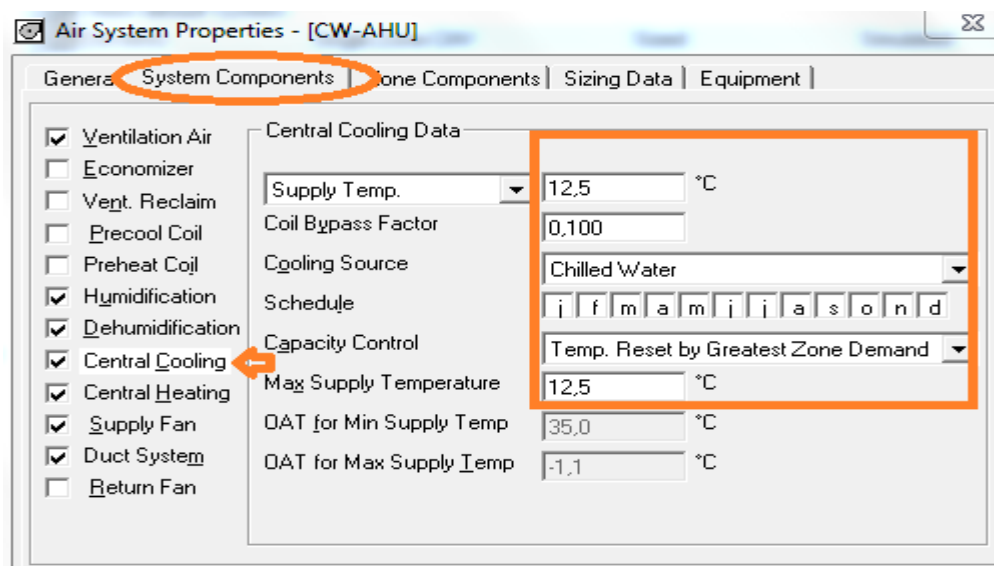


Figura 3.39- Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Central Arrefecimento

Na Central de Aquecimento, referida na figura 3.40, foi estipulado os 23°C da temperatura de projeto, a fonte que permite a troca termodinâmica, no nosso caso é água aquecida industrial e o sistema de controlo, que é o mesmo que foi definido para a central de arrefecimento, ou seja, à medida que a temperatura desce na nave o sistema aciona a central de aquecimento para eliminar esta descida. Também aqui o software nos obriga a estipular a temperatura mínima de aquecimento (23°C).

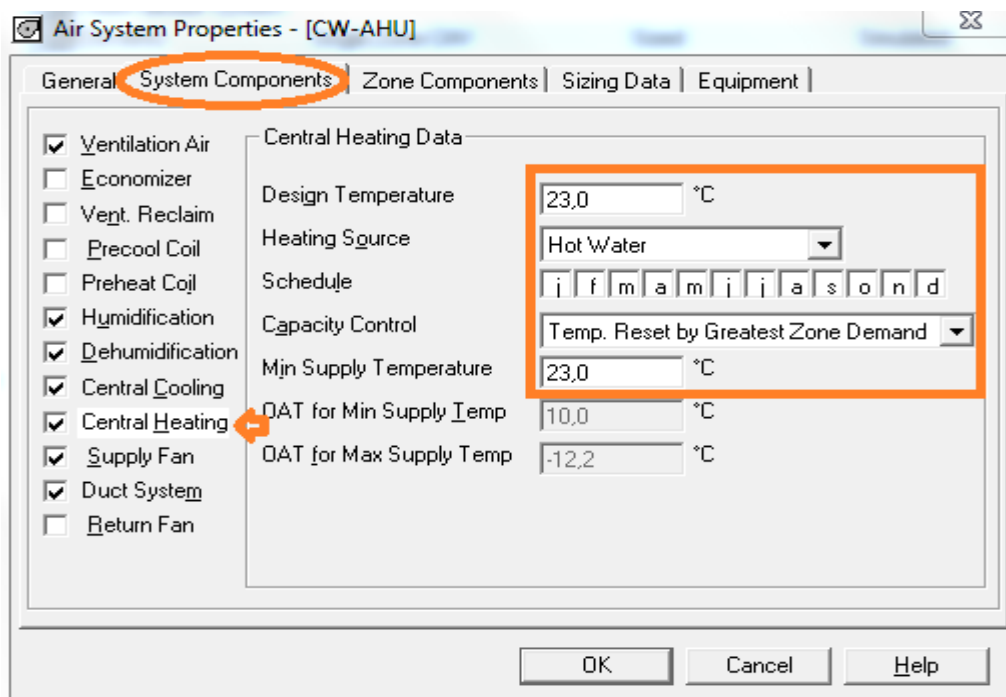


Figura 3.40 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Central Aquecimento

Na caracterização do ventilador foi definido o tipo de ventilador, o seu consumo elétrico e a sua configuração em relação à bateria de arrefecimento, que o nosso caso se encontra a jusante da bateria (figura 3.41).

O último item refere-se à rede aerólica de transporte do ar no sistema. Foi definido 2% de ganhos de calor na tubagem e 3% de perdas de ar através das ligações entre tubos. Foi também estabelecido o processo de transporte do ar de retorno, que no nosso caso é também através de redes aerólicas (figura 3.42).

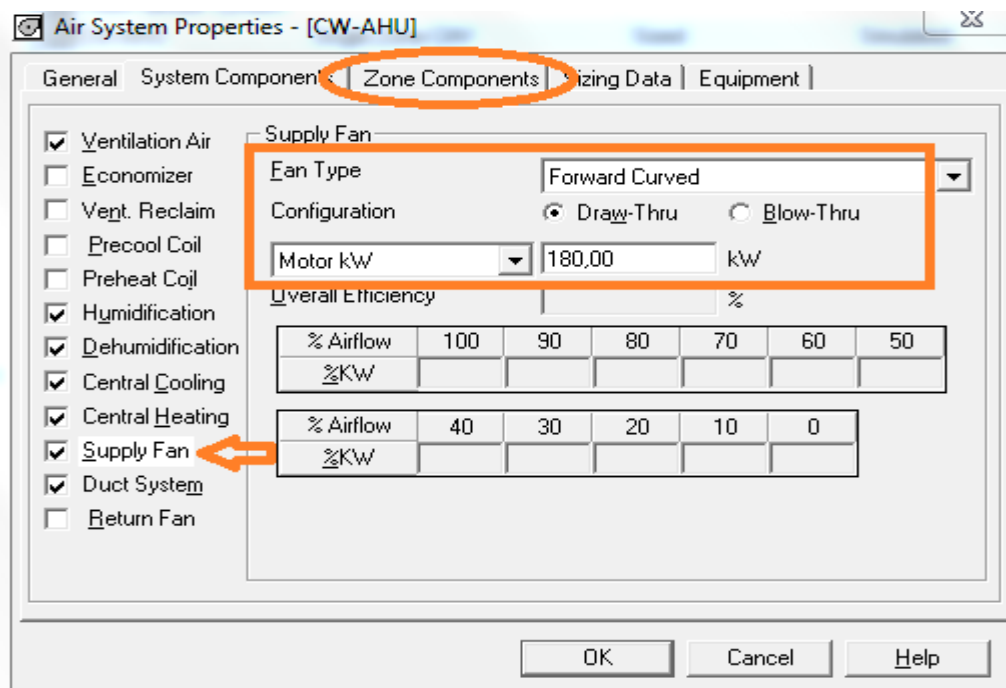


Figura 3.41 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Ventilador Insuflação

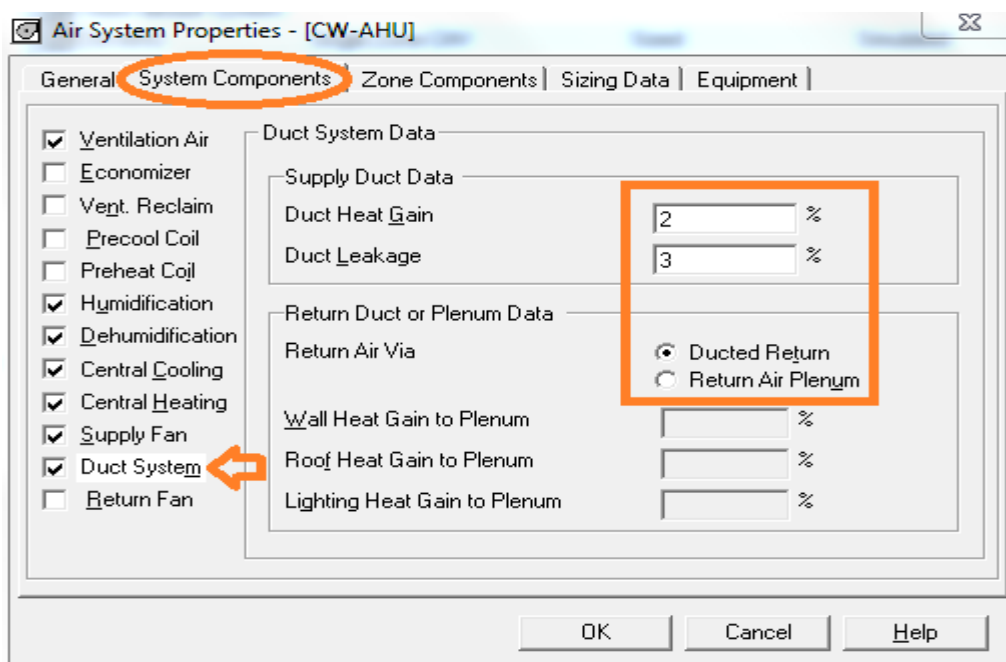


Figura 3.42 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes Sistema_Redes Aérolíca

Na figura 3.43 é definido os Componentes na Zona de insuflação. O primeiro item define os três espaços numa zona única caracterizada por zona 1.

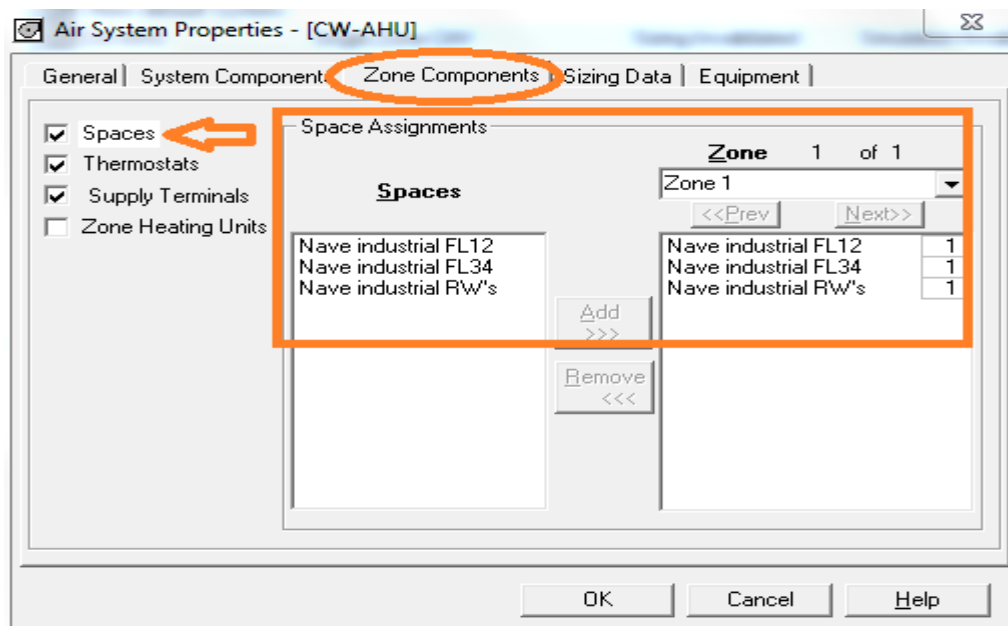


Figura 3.43 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Espaço

O item seguinte refere-se aos termostatos, onde foi definido o set-point para o arranque do arrefecimento e aquecimento, 23°C e 22°C respetivamente. Também foi estipulado o valor mínimo de variação da temperatura (0,1°C) e definido que neste sistema não esta em funcionamento a função de arrefecimento em modo de desocupado, uma vez que a nave esta permanentemente ocupada com trabalhadores (figura 3.44).

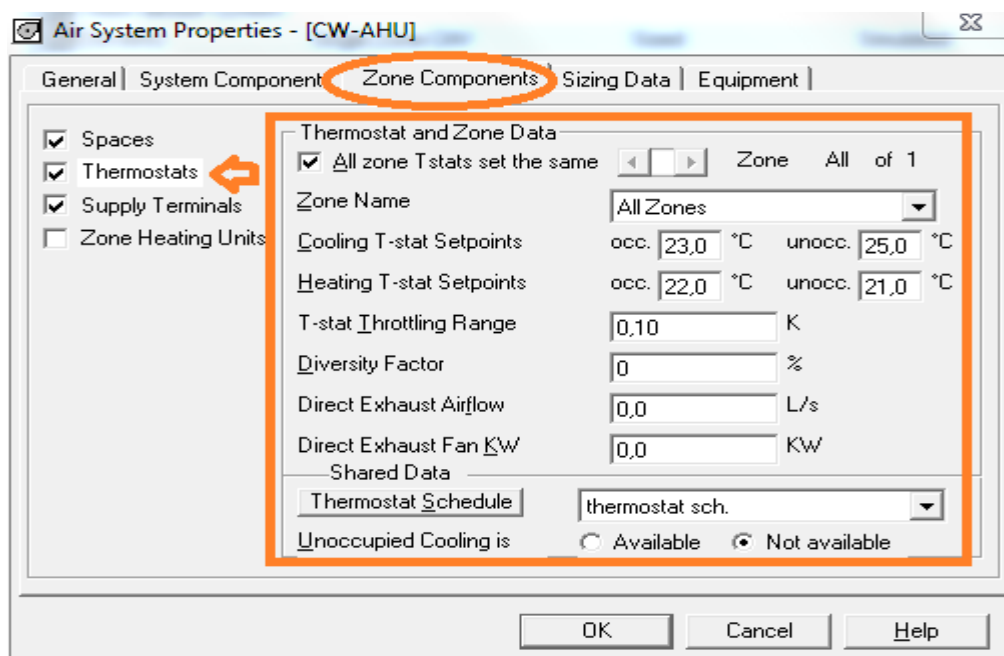


Figura 3.44 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Termoestatos

O último item deste separador, referente à figura 3.45 define as condições dos difusores. Primeiro foi estabelecido que toda a zona tem difusores iguais, do tipo simples sem reaquecimento. De seguida foi estipulado o mínimo de 35 m³/h/pessoa de ar insuflado na nave, de forma a garantir a qualidade do ar. Apesar dos edifícios industriais estarem isentos dos requisitos do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, (RECS) conforme atesta o artigo 33º, do Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto, foi definido o valor mínimo de 35 m³/h/pessoa, por este ser o maior valor, do caudal mínimo de ar novo definido no Anexo VI do Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril.

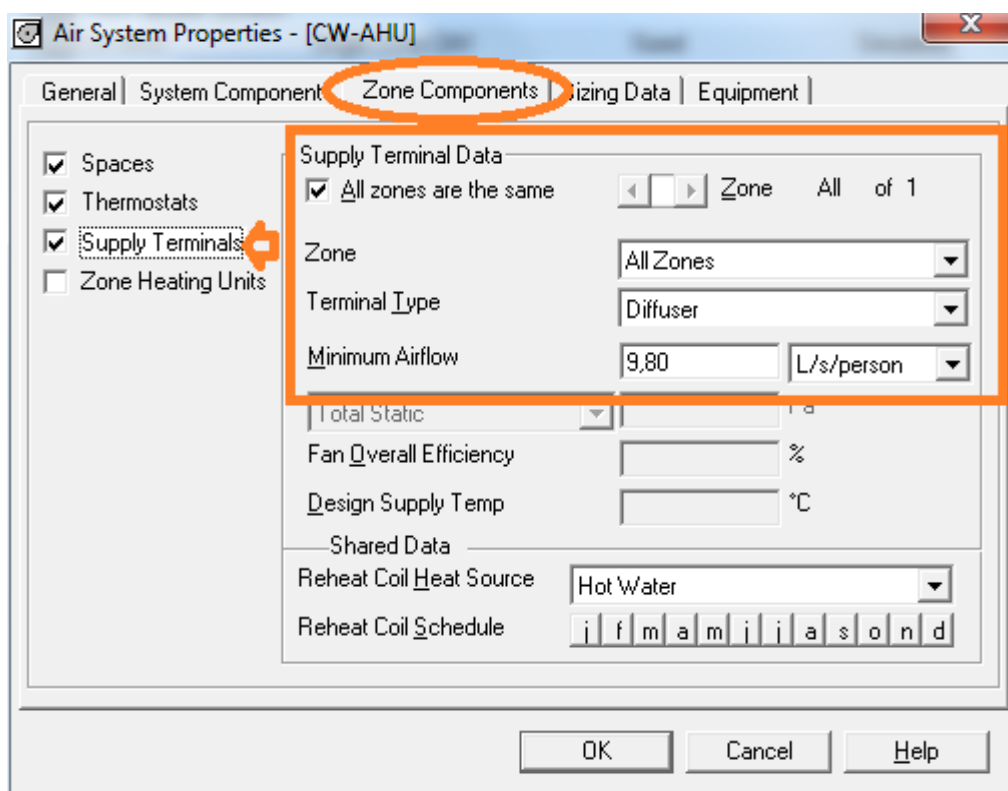


Figura 3.45 - Propriedades do Sistema de Climatização_Componentes da Zona_Difusores

No último separador, Dados de Dimensionamento, é definido a variação da temperatura da água do chiller e da água industrial de aquecimento, 5K e 23K respetivamente. O item termina com a inserção dos fatores de segurança (figura 3.46).

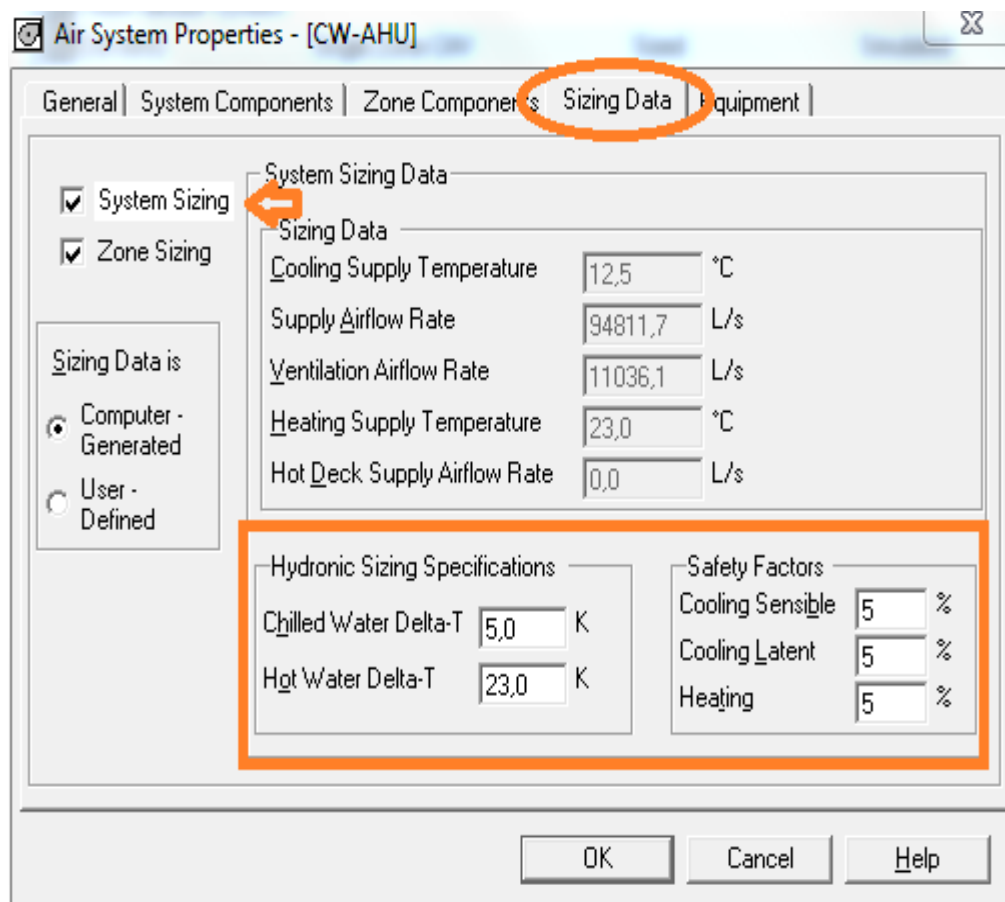


Figura 3.46 - Propriedades do Sistema de Climatização_Dados de Dimensionamento_Dimensionamento do Sistema

3.3.3 Resultados do software

Após a inserção dos valores acima descritos, o software debita vários tipos de informação consoante os objetivos do operador. No nosso caso obtemos o Sumário do Dimensionamento do Sistema que nos permite verificar a obtenção dos objetivos, as potências necessárias, os dias de pico, entre outros. Toda essa informação está representada na figura 3.47.

Air System Information

Air System Name CW-AHU
Equipment Class CW AHU
Air System Type SZCAV

Number of zones 1
Floor Area 10022,4 m²
Location Figueira da Foz, Portugal

Sizing Calculation Information

Calculation Months Jan to Dec
Sizing Data Calculated

Zone L/s Sizing Sum of space airflow rates
Space L/s Sizing Individual peak space loads

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load 1326,4 kW
Sensible coil load 1221,0 kW
Coil L/s at Jul 1600 94812 L/s
Max block L/s 94812 L/s
Sum of peak zone L/s 94812 L/s
Sensible heat ratio 0,921
m²/kW 7,6
W/m² 132,3
Water flow@ 5,0 °K rise 63,49 L/s

Load occurs at Jul 1600
OA DB / WB 32,1 / 21,5 °C
Entering DB / WB 23,5 / 16,5 °C
Leaving DB / WB 12,7 / 12,1 °C
Coil ADP 11,5 °C
Bypass Factor 0,100
Resulting RH 50 %
Design supply temp. 12,5 °C
Zone T-stat Check 1 of 1 OK
Max zone temperature deviation 0,0 °K

Central Heating Coil Sizing Data

Max coil load 320,5 kW
Coil L/s at Jan 0500 94812 L/s
Max coil L/s 94812 L/s
Water flow@ 23,0 °K drop 3,33 L/s

Load occurs at Jan 0500
W/m² 32,0
Ent. DB / Lvg DB 12,7 / 15,5 °C

Humidifier Sizing Data

Max steam flow at Des Htg 227,02 kg/hr
AirflowRate 94812 L/s

Air mass flow 406667,60 kg/hr
Moisture gain ,00056 kg/kg

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s 94812 L/s
Standard L/s 94028 L/s
Actual max L/(s·m²) 9,46 L/(s·m²)

Fan motor BHP 226,90 BHP
Fan motor kW 180,00 kW

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s 11036 L/s
L/(s·m²) 1,10 L/(s·m²)

L/s/person 0,00 L/s/person

Figura 3.47 - Sumário do Dimensionamento do Sistema

Outra informação essencial para a realização do estudo apresentada na figura 3.48, são os valores das potências de arrefecimento, aquecimento e humificação para cada hora do dia durante o período de um ano. Através da Simulação Horária de Resultados obtemos os referidos dados, que nos permite fazer uma simulação muito semelhante à realidade, e fazer uma avaliação da implementação do free cooling no sistema.

Table 1.1 Hourly Air System Simulation Results for Thursday, January 1

Hour	Central Cooling Coil Load (kW)	Central Heating Coil Load (kW)	Humidifier Load (kW)	Supply Fan (kW)	Lighting (kW)	Electric Equipment (kW)
0000	681,4	0,0	49,6	180,0	129,6	609,6
0100	666,8	0,0	56,9	180,0	129,6	609,6
0200	649,2	0,0	63,5	180,0	129,6	609,6
0300	657,9	0,0	67,0	180,0	129,6	609,6
0400	636,6	0,0	72,7	180,0	129,6	609,6
0500	652,8	0,0	72,9	180,0	129,6	609,6
0600	647,6	0,0	74,4	180,0	129,6	609,6
0700	635,9	0,0	71,5	180,0	129,6	609,6
0800	669,1	0,0	56,3	180,0	129,6	609,6
0900	682,0	0,0	58,1	180,0	129,6	609,6
1000	692,1	0,0	38,6	180,0	129,6	609,6
1100	726,6	0,0	29,6	180,0	129,6	609,6
1200	724,7	0,0	27,0	180,0	129,6	609,6
1300	749,7	0,0	23,5	180,0	129,6	609,6
1400	745,8	0,0	23,9	180,0	129,6	609,6
1500	729,8	0,0	25,5	180,0	129,6	609,6
1600	741,6	0,0	25,0	180,0	129,6	609,6
1700	716,7	0,0	30,3	180,0	129,6	609,6
1800	712,6	0,0	33,1	180,0	129,6	609,6
1900	723,3	0,0	32,6	180,0	129,6	609,6
2000	712,7	0,0	36,9	180,0	129,6	609,6
2100	685,4	0,0	40,6	180,0	129,6	609,6
2200	679,6	0,0	44,6	180,0	129,6	609,6
2300	687,4	0,0	48,1	180,0	129,6	609,6
Total	16607,2	0,0	1102,2	4320,0	3110,4	14630,7

Figura 3.48 - Simulação Horária de Resultados

3.4 Resultados

Com base nos resultados hora a hora durante um ano (8.760 horas), das potências de aquecimento, arrefecimento e humificação, necessárias para o Sistema de Climatização atingir os valores de projeto, 23°C e 50% HR, realizou-se uma avaliação com apoio do Excel, do melhor posicionamento dos dois registos de admissão do ar exterior novo.

A referida avaliação foi realizada tendo em conta dois modos de funcionamento, o modo de Eficiência Energética, em que o foco modelador do posicionamento dos registos é a maximização da poupança energética, e o modo de Avaliação Económica em que requisito reside na minimização dos custos energéticos. De salientar que estes dois tipos de avaliação só são possíveis devido ao facto da produção de calor com água industrial aquecida, ter um custo diferente da produção de frio com o chiller. Esta diferença de valores origina resultados finais diferentes caso se pretenda uma maximização das poupanças energéticas ou o mínimo custo possível com maximização do lucro financeiro.

Além da avaliação destes dois modos de funcionamento, contabilizaram-se também as horas de poupança de funcionamento do chiller para cada modo, ou seja, as ocasiões em que optando por cada um dos modos, o chiller está desligado, não há necessidade de laborar para atingir os objetivos, em relação à situação atual, em que está em funcionamento.

Todos os valores são comparados tendo em conta a situação real e atual em que se encontram os registos de ar exterior, isto é, com uma abertura fixa de 16% em relação a totalmente abertos (100% ar novo exterior). Este valor de 16% é fruto da admissão do caudal de 40.000 m³/h de ar exterior em relação aos de 252.000 m³/h, que representa o caudal máximo possível que o sistema admite.

Antes de apresentar e compreender os resultados é necessário estabelecer algumas considerações específicas deste sistema, de forma a aproximar este estudo o mais possível da realidade:

- A temperatura de insuflação máxima possível é 12,5°C correspondente à capacidade máxima das novas baterias de arrefecimento. Assim sendo, a diferença entre a temperatura de insuflação e a temperatura da nave pode ser de 10,5°C (23,0-12,5=10,5), superior aos 9°C defendido por muitos autores como o limite máximo admissível tendo em conta um possível choque térmico desconfortável para os trabalhadores. Contudo devido às especiais condições do pé direito do espaço (6.750m), este risco é tido como admissível sem prejuízo para o conforto dos trabalhadores.
- O caudal mínimo de ar novo exterior do sistema, e atual realidade, são 40.000 m³/h dos 252.000 m³/h máximos possíveis do sistema, são suficientes para cumprir o mínimo exigido de renovações de ar tendo em conta a garantia das condições de qualidade do ar interior.
- Para melhor análise dos resultados após o primeiro posicionamento dos registos de ar exterior a 16%, estipulam-se patamares de 10% em 10%, ou seja, inicia com 16%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e free cooling que corresponde a 100% aberto, isto é, todo o ar no sistema é exterior, logo, não existe ar de retorno, é todo exaurido.
- O sistema trabalha atualmente com condições fixas de 16% de ar exterior novo e 84% de ar de retorno, e é sobre estas condições que serão feitas todas as comparações.
- O COP do chiller é de 4,5, informação técnica disponibilizada pelo fabricante.
- As condições de projeto da nave são 23,0°C e 50% HR.

- Apesar do sistema estar equipado com um humidificador adiabático, o software não calcula as potências com base no arrefecimento gratuito, mas através de duas potências distintas, a potência de aquecimento e de humificação associada a geração de vapor. Como tal, para nos aproximarmos da realidade, no estudo, a potência de aquecimento é a soma da potência de humificação e da potência de aquecimento.
- A potência de arrefecimento definida foi de 1.400 kW para o ano todo com exceção dos meses de Junho e Setembro que apresentam alguns valores extremos e foi definido 1.550 kW, e os meses de Julho e Agosto com 1.500 kW pelos mesmos motivos. É de salientar que este procedimento é normal, uma vez que o número de horas em que os valores da potência necessária excedem a instalada tem uma expressão muito pequena no universo total de horas ao longo de todo o ano. Um dimensionamento de um sistema que cobrisse todos os picos de calor tornar-se-ia muito dispendioso e inútil a maioria do tempo.
- Para a potência de aquecimento foi definido o valor de 750 kW nas baterias de aquecimento mais dois humidificadores adiabáticos).
- Colocar os dois sistemas de controlo de temperatura e HR existentes no interior da nave num só sinal para comando simultâneo e automático das duas centrais.
- Para o cálculo económico foi estipulado o valor de 0.07 €/kWh para o arrefecimento, ou seja, o valor a que a empresa paga pela energia elétrica.
- Para o aquecimento o valor é de 0,025 €/kWh, tendo em conta que os custos para a empresa são 15€/Ton.vapor como se mostra de seguida:

Vapor a baixa pressão

$P = 3,35\text{bar}$

$t = 155^{\circ}\text{C}$ (vapor sobreaquecido)

$h_1(335\text{kpa}) = 577,6 \text{ kJ/kg}$ (Tab.A5 – líquido saturado)

$h_2(335\text{kpa}) = 2768,9 \text{ kJ/kg}$ (Tab.A6 – vapor sobreaquecido a 155°C)

$h_2 - h_1 = 2768,9 - 577,6 = 2191,3 \text{ kJ/kg} = 2191,3 \text{ MJ/Ton}$

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

$2191,3 / 3,6 = 608,69 \text{ kWh}$

$15 / 608,69 = 0,0246 \approx 0,025 \text{ €/kWh}$

Após estabelecidas as considerações foram processados os dados e obtidos os resultados abaixo descritos.

No mês de Janeiro, com temperaturas baixas e HR altas típicas desta época do ano, existe uma grande variabilidade da posição dos registos de ar exterior, o que indicia aproveitamento das temperaturas exteriores para arrefecer o ar de retorno até à respetiva temperatura do ar de insuflação.

Apesar de no quadro 3.8 só ser perceptível a variabilidade dos registos, nas últimas 11h do dia 31 de Janeiro, na folha de excel em anexo é possível constatar a enorme variabilidade de posicionamento dos registos de ar exterior durante todo o mês.

Como se pode observar no quadro 3.7, no dia 31 de Janeiro às 21h, a potência de arrefecimento diminui quando aumentamos a admissão de ar exterior e, no sentido inverso, a potência de humidificação aumenta. Ao inserirmos estas condições no diagrama psicrométrico (figura 3.49) com a temperatura de insuflação máxima ($T_{bs} = 12,5^{\circ}\text{C}$ e Humidade Absoluta (w) = $8,3\text{g/kg}_{as}$), as condições da nave ($T_{bs} = 23^{\circ}\text{C}$ e HR = 50%) e as condições momentâneas exteriores ($T_{bs} = 10,1^{\circ}\text{C}$ e $T_{bh} = 8,9^{\circ}\text{C}$), facilmente reparamos que à medida que o ponto do ar de mistura se afasta das condições da nave, devido ao aumento do caudal de ar exterior, menos arrefecimento é necessário e mais humidificação fruto de um maior afastamento da linha característica da sala. Esta evolução do sistema regista-se até ser atingido e respetiva temperatura de insuflação, neste caso com 60% de ar exterior, a partir daí será necessário potência de aquecimento e continuará a aumentar a potência de humidificação.

Nas condições atuais o sistema consome cerca de 560 MWth (quadro 3.7) e em ambos os modos, a poupança energética é na ordem dos 375 MWth (quadro 3.8), que se traduz em mais de metade. Também nos custos as poupanças ascendem a mais de metade, uma vez que o consumo real é de 9.000 € (quadro 3.7) e com o economizador passa para valores na ordem dos 4.200 € (quadro 3.8).

Outro fator de realce é o facto de no consumo real, os custos são maioritariamente com arrefecimento, ao contrário dos modos economizadores em que os custos são essencialmente com aquecimento.

Por fim onde existe uma diferença significativa entre os dois modos é nas horas de poupança do chiller, em que no modo de eficiência energética tem 277 horas e no de avaliação económica só tem 196 horas (quadro 3.9). Os restantes valores entre os dois modos pautam por poucas diferenças.

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo=40.000m³/h) [kW]								20% Ae [kW]			
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos	Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW
31-jan 13:00	12,80	10,20	765,30	0,00	29,70	795,00	29,70	11,90	0,74	795,00	680,70	0,00	50,30	731,00
31-jan 14:00	12,70	9,70	751,30	0,00	46,20	797,50	46,20	11,69	1,16	797,50	665,10	0,00	77,80	742,90
31-jan 15:00	12,60	10,20	771,40	0,00	29,50	800,90	29,50	12,00	0,74	800,90	685,40	0,00	49,90	735,30
31-jan 16:00	12,40	10,20	762,20	0,00	27,20	789,40	27,20	11,86	0,68	789,40	674,00	0,00	46,00	720,00
31-jan 17:00	12,00	9,90	744,30	0,00	31,30	775,60	31,30	11,58	0,78	775,60	651,90	0,00	52,90	704,80
31-jan 18:00	11,60	9,70	750,70	0,00	29,90	780,60	29,90	11,68	0,75	780,60	655,70	0,00	50,60	706,30
31-jan 19:00	11,20	9,50	730,90	0,00	31,50	762,40	31,50	11,37	0,79	762,40	631,60	0,00	53,20	684,80
31-jan 20:00	10,70	9,30	739,40	0,00	29,60	769,00	29,60	11,50	0,74	769,00	636,70	0,00	50,20	686,90
31-jan 21:00	10,10	8,90	712,30	0,00	34,90	747,20	34,90	11,08	0,87	747,20	603,00	0,00	59,00	662,00
31-jan 22:00	9,60	8,60	707,50	0,00	36,60	744,10	36,60	11,01	0,92	744,10	593,90	0,00	63,60	657,50
31-jan 23:00	9,10	8,40	717,40	0,00	35,60	753,00	35,60	11,16	0,89	753,00	600,60	0,00	60,10	660,70
Total								8.222,66	777,90	559.715,30				

Quadro 3.7 – Exemplo dos consumos de Janeiro (consultar anexo F)

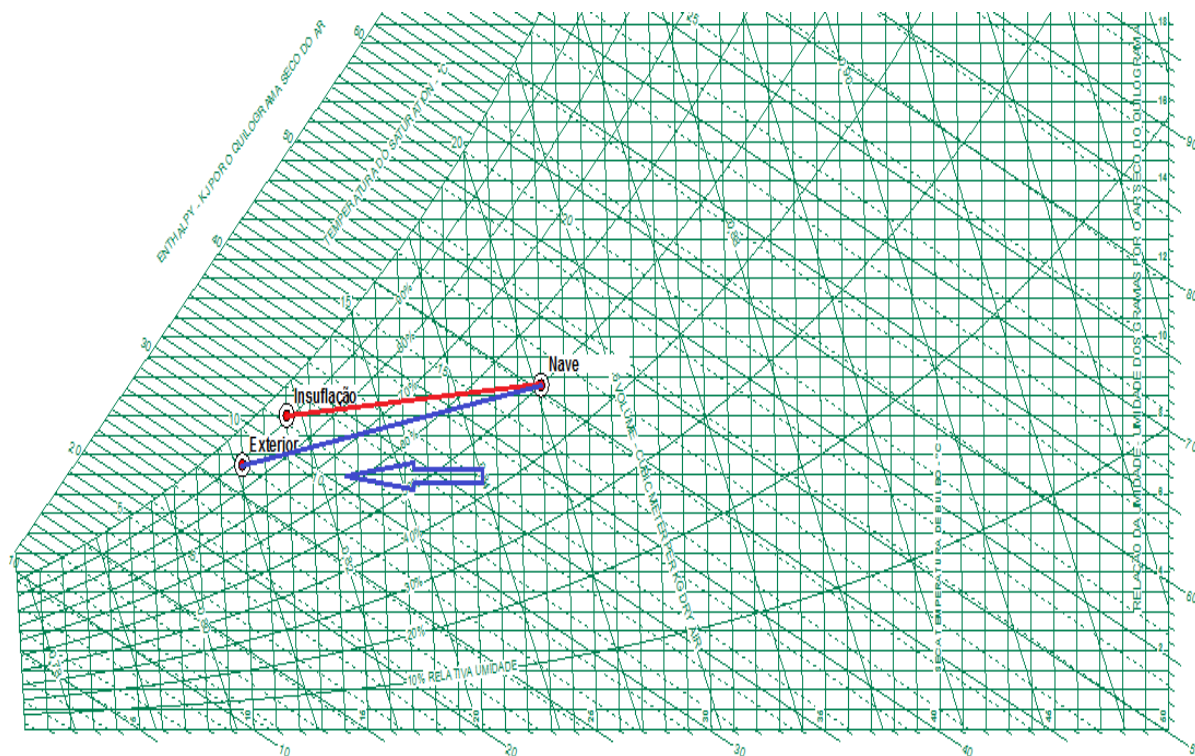


Figura 3.49 - Diagrama Psicrométrico de 31/Jan (21h)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA					
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupados	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref + Econ	€ Aq + Econ	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupados
80% Ae	541,00	541,00	5,84	80% Ae	0,83	5,01	5,84	6,80	541,00
80% Ae	464,60	464,60	8,13	80% Ae	0,32	7,81	8,13	4,71	464,60
80% Ae	560,30	560,30	5,68	80% Ae	0,55	5,13	5,68	7,06	560,30
80% Ae	582,40	582,40	5,18	80% Ae	0,00	5,18	5,18	7,36	582,40
80% Ae	555,90	555,90	5,49	80% Ae	0,00	5,49	5,49	6,87	555,90
70% Ae	539,70	539,70	5,44	70% Ae	0,97	4,47	5,44	6,99	539,70
70% Ae	572,40	572,40	4,75	70% Ae	0,00	4,75	4,75	7,41	572,40
70% Ae	592,00	592,00	4,43	70% Ae	0,00	4,43	4,43	7,82	592,00
60% Ae	508,40	508,40	5,38	60% Ae	0,97	4,41	5,38	6,57	508,40
60% Ae	515,60	515,60	5,30	60% Ae	0,68	4,62	5,30	6,62	515,60
60% Ae	561,40	561,40	4,79	60% Ae	0,00	4,79	4,79	7,26	561,40
		376.877,20	4.250,47			664,55	3.545,60	4.210,15	4.790,41
									375.170,30

Quadro 3.8 – Poupanças de Janeiro

Horas de Poupança do Chiller	
Opção Energética	Opção Económica
0	0
0	0
0	0
1	1
1	1
0	0
1	1
1	1
0	0
0	0
1	1
277	196

Quadro 3.9 – Horas de poupança de funcionamento do chiller em Janeiro

Nos meses de Fevereiro (quadros 3.10 e 3.11), Março (quadros 3.12 e 3.13), Abril (quadros 3.14 e 3.15), Novembro (quadros 3.16 e 3.17) e Dezembro (quadros 3.18 e 3.19) as poupanças em termos de energia situam-se num universo que vai dos 50% aos 70%, e em relação aos custos as poupanças são na ordem dos 40% a 60%. Podemos desde já salientar que durante meio ano existem condições exteriores passíveis de originar poupanças significativas.

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
28-Fev 13:00	16,30	13,30	811,50	0,00	0,00	811,50	0,00	12,62	0,00	811,50
28-Fev 14:00	16,20	13,10	830,90	0,00	0,00	830,90	0,00	12,93	0,00	830,90
28-Fev 15:00	16,10	13,00	825,00	0,00	0,00	825,00	0,00	12,83	0,00	825,00
28-Fev 16:00	15,80	12,90	811,70	0,00	0,00	811,70	0,00	12,63	0,00	811,70
28-Fev 17:00	15,40	12,60	817,00	0,00	0,00	817,00	0,00	12,71	0,00	817,00
28-Fev 18:00	14,90	12,20	795,30	0,00	0,00	795,30	0,00	12,37	0,00	795,30
28-Fev 19:00	14,40	11,90	803,80	0,00	0,00	803,80	0,00	12,50	0,00	803,80
28-Fev 20:00	13,80	11,50	776,90	0,00	5,10	782,00	5,10	12,09	0,13	782,00
28-Fev 21:00	13,20	11,10	771,30	0,00	9,80	781,10	9,80	12,00	0,25	781,10
28-Fev 22:00	12,50	10,60	778,10	0,00	14,20	792,30	14,20	12,10	0,36	792,30
28-Fev 23:00	11,90	10,20	765,30	0,00	17,70	783,00	17,70	11,00	0,44	783,00
Total								7.694,27	568,37	517.366,60

Quadro 3.10 – Exemplo dos consumos de Fevereiro (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref + Econ.	€ Aq + Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
100% Ae	617,10	617,10	3,02	100% Ae	3,02	0,00	3,02	9,60	617,10	0	0
100% Ae	634,20	634,20	3,06	100% Ae	3,06	0,00	3,06	9,87	634,20	0	0
100% Ae	634,80	634,80	2,96	100% Ae	2,96	0,00	2,96	9,87	634,80	0	0
100% Ae	654,30	654,30	2,45	100% Ae	2,45	0,00	2,45	10,18	654,30	0	0
100% Ae	701,60	701,60	1,80	100% Ae	1,80	0,00	1,80	10,91	701,60	0	0
100% Ae	705,40	705,40	1,40	100% Ae	1,40	0,00	1,40	10,97	705,40	0	0
100% Ae	768,70	768,70	0,64	100% Ae	0,40	0,24	0,64	11,87	768,70	0	0
90% Ae	709,80	709,80	1,53	90% Ae	0,45	1,09	1,53	10,68	709,80	0	0
90% Ae	714,80	714,80	1,66	90% Ae	0,00	1,66	1,66	10,59	714,80	1	1
80% Ae	667,70	667,70	3,03	80% Ae	0,15	2,88	3,03	9,43	667,70	0	0
80% Ae	646,10	646,10	3,42	80% Ae	0,00	3,42	3,42	8,92	646,10	1	1
		360.692,00	3.419,85		931,04	2.460,83	3.391,86	4.870,78	359.081,20	227	155

Quadro 3.11 – Poupanças de Fevereiro

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
31-Mar 13:00	20,70	15,20	880,30	0,00	0,00	880,30	0,00	13,69	0,00	880,30
31-Mar 14:00	21,40	15,30	895,10	0,00	0,00	895,10	0,00	13,92	0,00	895,10
31-Mar 15:00	21,30	15,40	898,30	0,00	0,00	898,30	0,00	13,97	0,00	898,30
31-Mar 16:00	20,90	15,20	912,30	0,00	0,00	912,30	0,00	14,19	0,00	912,30
31-Mar 17:00	20,30	15,00	881,80	0,00	0,00	881,80	0,00	13,72	0,00	881,80
31-Mar 18:00	19,50	14,70	875,00	0,00	0,00	875,00	0,00	13,61	0,00	875,00
31-Mar 19:00	18,50	14,40	860,60	0,00	0,00	860,60	0,00	13,39	0,00	860,60
31-Mar 20:00	17,40	13,80	846,00	0,00	0,00	846,00	0,00	13,16	0,00	846,00
31-Mar 21:00	16,10	13,20	828,70	0,00	0,00	828,70	0,00	12,89	0,00	828,70
31-Mar 22:00	14,80	12,50	826,40	0,00	0,00	826,40	0,00	12,86	0,00	826,40
31-Mar 23:00	13,50	11,80	786,60	0,00	0,00	786,60	0,00	12,24	0,00	786,60
Total								9.287,62	968,11	635.785,80

Quadro 3.12 – Exemplo dos consumos de Março (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref + Econ.	€ Aq + Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
100% Ae	177,10	177,10	10,94	100% Ae	10,94	0,00	10,94	2,75	177,10	0	0
100% Ae	110,70	110,70	12,20	100% Ae	12,20	0,00	12,20	1,72	110,70	0	0
90% Ae	113,20	113,20	12,21	90% Ae	12,21	0,00	12,21	1,76	113,20	0	0
100% Ae	184,70	184,70	11,32	100% Ae	11,32	0,00	11,32	2,87	184,70	0	0
100% Ae	216,00	216,00	10,36	100% Ae	10,36	0,00	10,36	3,36	216,00	0	0
100% Ae	292,00	292,00	9,07	100% Ae	9,07	0,00	9,07	4,54	292,00	0	0
100% Ae	359,60	359,60	7,79	100% Ae	7,79	0,00	7,79	5,59	359,60	0	0
100% Ae	510,10	510,10	5,23	100% Ae	5,23	0,00	5,23	7,93	510,10	0	0
100% Ae	630,30	630,30	3,09	100% Ae	3,09	0,00	3,09	9,80	630,30	0	0
100% Ae	772,70	772,70	0,84	100% Ae	0,84	0,00	0,84	12,02	772,70	0	0
90% Ae	786,60	786,60	0,00	90% Ae	0,00	0,00	0,00	12,24	786,60	1	1
		356.271,20	5.640,20		2.412,27	3.187,49	5.599,76	4.655,97	353.211,70	195	143

Quadro 3.13 – Poupanças de Março

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
30-Abr 13:00	20,20	16,10	1110,80	186,90	0,00	1297,70	186,90	17,28	4,67	1297,70
30-Abr 14:00	20,70	16,30	1116,90	179,00	0,00	1295,90	179,00	17,37	4,48	1295,90
30-Abr 15:00	20,60	16,30	1120,20	174,30	0,00	1294,50	174,30	17,43	4,36	1294,50
30-Abr 16:00	20,40	16,30	1117,60	170,40	0,00	1288,00	170,40	17,38	4,26	1288,00
30-Abr 17:00	19,90	16,10	1114,20	153,00	0,00	1267,20	153,00	17,33	3,83	1267,20
30-Abr 18:00	19,30	15,80	1101,10	177,30	0,00	1278,40	177,30	17,13	4,43	1278,40
30-Abr 19:00	18,50	15,50	1090,00	176,10	0,00	1266,10	176,10	16,96	4,40	1266,10
30-Abr 20:00	17,60	15,10	1077,30	177,70	0,00	1255,00	177,70	16,76	4,44	1255,00
30-Abr 21:00	16,60	14,50	1057,10	178,60	0,00	1235,70	178,60	16,44	4,47	1235,70
30-Abr 22:00	15,60	14,00	1041,20	180,00	0,00	1221,20	180,00	16,20	4,50	1221,20
30-Abr 23:00	14,60	13,40	1025,50	164,80	0,00	1190,30	164,80	15,95	4,12	1190,30
Total								9.505,48	1.050,05	653.068,40

Quadro 3.14 – Exemplo dos Consumos de Abril (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref.+Econ.	€ Aq.+Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	21,95	16% Ae	17,28	4,67	21,95	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,85	16% Ae	17,37	4,48	21,85	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,78	16% Ae	17,43	4,36	21,78	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,64	20% Ae	17,65	3,94	21,59	0,05	-4,50	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,16	16% Ae	17,33	3,83	21,16	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,56	16% Ae	17,13	4,43	21,56	0,00	0,00	0	0
90% Ae	14,20	14,20	21,63	40% Ae	16,82	4,32	21,14	0,22	11,90	0	0
100% Ae	96,40	96,40	20,35	90% Ae	14,45	5,89	20,34	0,86	90,60	0	0
100% Ae	240,40	240,40	17,86	100% Ae	11,57	6,29	17,86	3,05	240,40	0	0
100% Ae	332,80	332,80	16,13	100% Ae	10,02	6,11	16,13	4,57	332,80	0	0
100% Ae	467,90	467,90	13,86	100% Ae	6,91	6,95	13,86	6,21	467,90	0	0
		324.911,60	6.229,42		3.532,57	2.627,59	6.160,16	4.395,37	320.871,00	152	111

Quadro 3.15 – Poupanças de Abril

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
30-Nov 13:00	20,30	17,30	1165,70	201,60	0,00	1367,30	201,60	18,13	5,04	1367,30
30-Nov 14:00	20,20	17,20	1160,30	211,80	0,00	1372,10	211,80	18,05	5,30	1372,10
30-Nov 15:00	19,90	16,90	1151,20	196,00	0,00	1347,20	196,00	17,91	4,90	1347,20
30-Nov 16:00	19,40	16,70	1138,00	214,40	0,00	1352,40	214,40	17,70	5,36	1352,40
30-Nov 17:00	18,80	16,30	1128,40	197,20	0,00	1325,60	197,20	17,55	4,93	1325,60
30-Nov 18:00	18,00	15,80	1108,90	206,30	0,00	1315,20	206,30	17,25	5,16	1315,20
30-Nov 19:00	17,10	15,20	1087,60	201,70	0,00	1289,30	201,70	16,92	5,04	1289,30
30-Nov 20:00	16,20	14,70	1069,30	210,60	0,00	1279,90	210,60	16,63	5,27	1279,90
30-Nov 21:00	15,20	14,00	1047,40	205,50	0,00	1252,90	205,50	16,29	5,14	1252,90
30-Nov 22:00	14,10	13,30	1022,10	216,80	0,00	1238,90	216,80	15,90	5,42	1238,90
30-Nov 23:00	13,10	12,60	1001,70	205,80	0,00	1207,50	205,80	15,58	5,15	1207,50
Total								9.264,06	1.118,96	640.304,70

Quadro 3.16 – Exemplo dos Consumos de Novembro (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref.+Econ.	€ Aq.+Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	23,17	16% Ae	18,13	5,04	23,17	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,34	16% Ae	18,05	5,30	23,34	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,81	16% Ae	17,91	4,90	22,81	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,06	16% Ae	17,70	5,36	23,06	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,48	16% Ae	17,55	4,93	22,48	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,41	16% Ae	17,25	5,16	22,41	0,00	0,00	0	0
100% Ae	29,00	29,00	22,36	100% Ae	16,92	5,04	21,96	0,00	0,00	0	0
100% Ae	142,80	142,80	20,36	100% Ae	13,28	7,08	20,36	1,54	142,80	0	0
100% Ae	317,50	317,50	17,46	100% Ae	9,75	7,71	17,46	3,97	317,50	0	0
100% Ae	496,20	496,20	14,51	100% Ae	6,69	7,82	14,51	6,81	496,20	0	0
100% Ae	627,10	627,10	11,86	100% Ae	4,36	7,51	11,86	8,86	627,10	0	0
		382.910,10	4.823,43		2.735,77	2.064,62	4.800,39	5.582,62	381.848,80	225	176

Quadro 3.17 – Poupanças de Novembro

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
31-Dez 13:00	12,20	10,20	750,60	0,00	23,60	774,20	23,60	11,68	0,59	774,20
31-Dez 14:00	12,20	10,20	748,80	0,00	23,70	772,50	23,70	11,65	0,59	772,50
31-Dez 15:00	12,00	10,10	728,90	0,00	25,80	754,70	25,80	11,34	0,65	754,70
31-Dez 16:00	11,70	9,90	727,20	0,00	26,90	754,10	26,90	11,31	0,67	754,10
31-Dez 17:00	11,30	9,60	738,00	0,00	28,10	766,10	28,10	11,48	0,70	766,10
31-Dez 18:00	10,80	9,30	728,30	0,00	31,20	759,50	31,20	11,33	0,78	759,50
31-Dez 19:00	10,30	9,00	704,40	0,00	34,80	739,20	34,80	10,96	0,87	739,20
31-Dez 20:00	9,70	8,60	699,30	0,00	37,80	737,10	37,80	10,88	0,95	737,10
31-Dez 21:00	9,00	8,20	706,00	0,00	38,50	744,50	38,50	10,98	0,96	744,50
31-Dez 22:00	8,40	7,80	677,50	0,00	44,90	722,40	44,90	10,54	1,12	722,40
31-Dez 23:00	0,00	0,30	567,80	0,00	119,60	687,40	119,60	8,83	2,99	687,40
Total								8.489,95	637,67	571.289,40

Quadro 3.18 – Exemplo dos consumos de Dezembro (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref +Econ.	€ Aq +Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
80% Ae	611,00	611,00	4,08	80% Ae	0,00	4,08	4,08	8,19	611,00	1	1
80% Ae	591,60	591,60	4,52	80% Ae	0,00	4,52	4,52	7,72	591,60	1	1
70% Ae	540,80	540,80	4,80	70% Ae	0,90	3,91	4,80	7,18	540,80	0	0
70% Ae	552,40	552,40	4,68	70% Ae	0,61	4,07	4,68	7,31	552,40	0	0
70% Ae	565,70	565,70	4,72	70% Ae	0,49	4,23	4,72	7,47	565,70	0	0
70% Ae	559,00	559,00	5,01	70% Ae	0,00	5,01	5,01	7,10	559,00	1	1
60% Ae	490,70	490,70	5,47	60% Ae	1,23	4,24	5,47	6,36	490,70	0	0
60% Ae	515,00	515,00	5,32	60% Ae	0,38	4,95	5,32	6,50	515,00	0	0
60% Ae	547,00	547,00	4,94	60% Ae	0,00	4,94	4,94	7,01	547,00	1	1
50% Ae	432,20	432,20	6,24	50% Ae	1,68	4,56	6,24	5,42	432,20	0	0
30% Ae	264,70	264,70	9,41	30% Ae	1,90	7,51	9,41	2,41	264,70	0	0
		412.462,90	3.526,35		850,16	2.645,68	3.495,84	5.631,79	410.809,30	265	193

Quadro 3.19 – Poupanças de Dezembro

O mês de Maio (quadros 3.22 e 3.23) e Outubro (quadros 3.20 e 3.21) têm valores de poupança mais baixos, situados entre 20% e 35% para os consumos energéticos e 20% a 30% para os custos.

Com o aumento generalizado das temperaturas exteriores para valores a rondar os 20°C, nota-se um aumento geral das potências de arrefecimento e aquecimento e uma diminuição da potência de humificação. Se o aumento da necessidade de arrefecimento está diretamente relacionado com o aumento das temperaturas exteriores, já o aparecimento mais incisivo do aquecimento e o desaparecer da humificação diz respeito aos valores da HR. Muitas das condições exteriores referentes a estes dois meses situam-se acima da linha característica da sala, originando como melhor solução o posicionamento dos registos com o mínimo de abertura (16%) e um arrefecimento abaixo da temperatura de insuflação para secar o ar até níveis de HR pretendidos, e posteriormente aquecimento até à temperatura de insuflação (figura 3.50).

Posto isto, é perceptível que a variabilidade do posicionamento dos registos diminua com uma maior incidência na posição mínima de 16% de ar exterior em relação aos meses com as temperaturas mais frias. Regista-se também uma diminuição das horas de poupança do chiller devido a uma maior exigência da potência de arrefecimento.

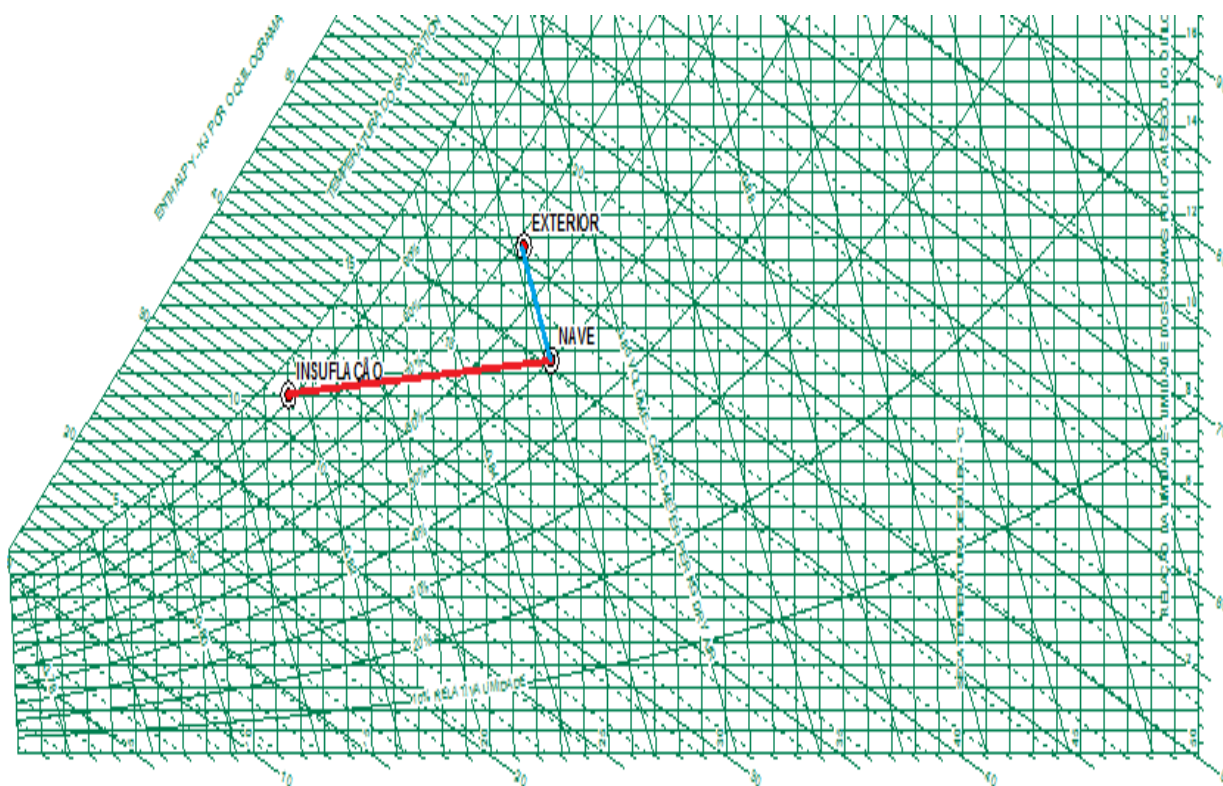


Figura 3.50 - Diagrama psicrométrico de 1/Outubro (20h)

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
31-Out 13:00	19,00	18,70	1224,30	213,70	0,00	1438,00	213,70	19,04	5,34	1438,00
31-Out 14:00	18,90	18,60	1220,10	211,00	0,00	1431,10	211,00	18,98	5,28	1431,10
31-Out 15:00	18,70	18,40	1212,40	209,20	0,00	1421,60	209,20	18,86	5,23	1421,60
31-Out 16:00	18,30	18,00	1195,60	208,20	0,00	1403,80	208,20	18,60	5,21	1403,80
31-Out 17:00	17,80	17,50	1178,50	191,50	0,00	1370,00	191,50	18,33	4,79	1370,00
31-Out 18:00	17,20	16,90	1152,00	215,50	0,00	1367,50	215,50	17,92	5,39	1367,50
31-Out 19:00	16,50	16,20	1125,30	212,70	0,00	1338,00	212,70	17,50	5,32	1338,00
31-Out 20:00	15,80	15,50	1099,30	211,40	0,00	1310,70	211,40	17,10	5,29	1310,70
31-Out 21:00	15,00	14,70	1070,90	210,10	0,00	1281,00	210,10	16,66	5,25	1281,00
31-Out 22:00	14,20	13,90	1045,90	192,40	0,00	1238,30	192,40	16,27	4,81	1238,30
31-Out 23:00	13,40	13,10	1017,60	202,40	0,00	1220,00	202,40	15,83	5,06	1220,00
Total								11.876,84	2.486,67	862.977,80

Quadro 3.20 – Exemplo dos consumos de Outubro (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ	€ Arref.+Econ	€ Aq.+Econ	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	24,39	16% Ae	19,04	5,34	24,39	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	24,25	16% Ae	18,98	5,28	24,25	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	24,09	16% Ae	18,86	5,23	24,09	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,80	16% Ae	18,60	5,21	23,80	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,12	16% Ae	18,33	4,79	23,12	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,31	16% Ae	17,92	5,39	23,31	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,82	16% Ae	17,50	5,32	22,82	0,00	0,00	0	0
20% Ae	3,90	3,90	22,24	20% Ae	17,18	5,06	22,24	0,15	3,90	0	0
100% Ae	115,00	115,00	21,11	100% Ae	13,24	7,88	21,11	0,80	115,00	0	0
100% Ae	305,50	305,50	17,46	100% Ae	9,66	7,80	17,46	3,62	305,50	0	0
100% Ae	496,50	496,50	14,03	100% Ae	6,68	7,36	14,03	6,86	496,50	0	0
		220.228,40	11.179,64		8.115,60	3.049,88	11.165,48	3.198,03	219.265,70	98	76

Quadro 3.21 – Poupanças de Outubro

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo=40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
31-Mai 13:00	22,30	19,00	1229,90	158,20	0,00	1388,10	158,20	19,13	3,96	1388,10
31-Mai 14:00	22,60	19,10	1231,30	153,60	0,00	1384,90	153,60	19,15	3,84	1384,90
31-Mai 15:00	22,60	18,90	1228,40	133,90	0,00	1362,30	133,90	19,11	3,35	1362,30
31-Mai 16:00	22,40	18,80	1216,10	160,80	0,00	1376,90	160,80	18,92	4,02	1376,90
31-Mai 17:00	22,10	18,50	1206,20	147,10	0,00	1353,30	147,10	18,76	3,68	1353,30
31-Mai 18:00	21,70	18,20	1198,50	133,30	0,00	1331,80	133,30	18,64	3,33	1331,80
31-Mai 19:00	21,20	17,30	1157,10	151,50	0,00	1308,60	151,50	18,00	3,79	1308,60
31-Mai 20:00	20,70	17,50	1166,20	152,30	0,00	1318,50	152,30	18,14	3,81	1318,50
31-Mai 21:00	20,10	17,10	1154,00	152,80	0,00	1306,80	152,80	17,95	3,82	1306,80
31-Mai 22:00	19,40	16,70	1138,30	138,40	0,00	1276,70	138,40	17,71	3,46	1276,70
31-Mai 23:00	18,80	16,30	1122,50	163,70	0,00	1286,20	163,70	17,46	4,09	1286,20
Total								11.111,70	1.704,42	782.500,40

Quadro 3.22 – Exemplo dos consumos de Maio (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref.+Econ.	€ Aq.+Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	23,09	16% Ae	19,13	3,96	23,09	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,99	16% Ae	19,15	3,84	22,99	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,46	16% Ae	19,11	3,35	22,46	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,94	16% Ae	18,92	4,02	22,94	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,44	16% Ae	18,76	3,68	22,44	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,98	16% Ae	18,64	3,33	21,98	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,79	16% Ae	18,00	3,79	21,79	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,95	16% Ae	18,14	3,81	21,95	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,77	16% Ae	17,95	3,82	21,77	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,17	16% Ae	17,71	3,46	21,17	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,55	16% Ae	17,46	4,09	21,55	0,00	0,00	0	0
		270.055,40	9.007,11		6.335,16	2.655,52	8.990,68	3.825,44	269.019,30	111	94

Quadro 3.23 – Poupanças de Maio

O último grupo de meses diz respeito aos meses mais quentes de verão em que as poupanças de energia e de custos são no máximo de 10%. Os meses de Junho (quadros 3.24 e 3.25), Julho (quadros 3.26 e 3.27) Agosto (quadros 3.28 e 3.29) e Setembro (quadros 3.30 e 3.31) são caracterizados por temperaturas exteriores elevadas acima dos 20°C, HR baixas e humidades absolutas acima das condições pretendidas (8,7g/kg_{as}).

Estas condições exteriores posicionam-se na sua maioria, no diagrama psicrométrico, acima da curva característica da sala e à direita dos 23°C pretendidos como demonstra a figura 3.51, originando a posição fixa dos registos nos 16% de ar exterior, mínimo que o sistema permite e inviabilizando qualquer tipo de poupança. Neste período de tempo a posição dos registos do ar exterior, é caracterizada por uma variabilidade baixa, com uma incidência intensa sobre os 16% mínimos.

Esta época é caracterizada por uma potência de arrefecimento constante e elevada, muitas das vezes correspondendo ao máximo do sistema, uma potência de aquecimento constante e uma humidificação praticamente nula. Como consequência as horas de poupança do chiller diminuem drasticamente, havendo mesmo um mês, Setembro, em que não existe nenhuma hora de poupança.

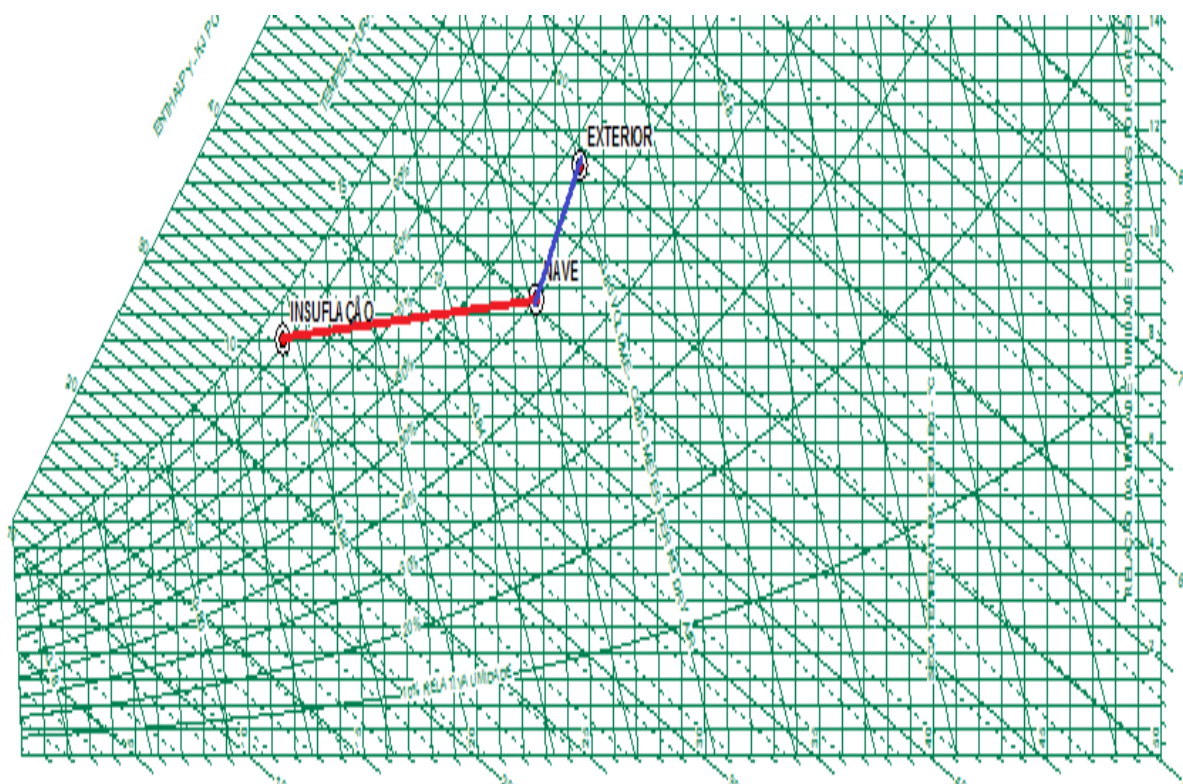


Figura 3.51 - Diagrama Psicrométrico de 1/Junho (19h)

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
30-Jun 13:00	25,90	19,30	1231,00	140,40	0,00	1371,40	140,40	19,15	3,51	1371,40
30-Jun 14:00	26,50	19,40	1236,00	132,00	0,00	1368,00	132,00	19,23	3,30	1368,00
30-Jun 15:00	26,40	19,60	1242,40	127,30	0,00	1369,70	127,30	19,33	3,18	1369,70
30-Jun 16:00	26,10	19,50	1239,30	123,30	0,00	1362,60	123,30	19,28	3,08	1362,60
30-Jun 17:00	25,60	19,40	1236,30	121,00	0,00	1357,30	121,00	19,23	3,03	1357,30
30-Jun 18:00	24,90	19,20	1232,70	105,10	0,00	1337,80	105,10	19,18	2,63	1337,80
30-Jun 19:00	24,10	19,00	1222,30	133,60	0,00	1355,90	133,60	19,01	3,34	1355,90
30-Jun 20:00	23,10	18,70	1210,80	133,20	0,00	1344,00	133,20	18,83	3,33	1344,00
30-Jun 21:00	22,10	18,40	1199,20	133,90	0,00	1333,10	133,90	18,65	3,35	1333,10
30-Jun 22:00	20,90	17,80	1177,00	135,10	0,00	1312,10	135,10	18,31	3,38	1312,10
30-Jun 23:00	19,80	17,30	1158,90	136,70	0,00	1295,60	136,70	18,03	3,42	1295,60
Total								12.642,84	2.429,33	909.927,50

Quadro 3.24 – Exemplo dos consumos de Junho (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ	€ Arref + Econ	€ Aq + Econ	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	22,66	16% Ae	19,15	3,51	22,66	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,53	16% Ae	19,23	3,30	22,53	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,51	16% Ae	19,33	3,18	22,51	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,36	16% Ae	19,28	3,08	22,36	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,26	16% Ae	19,23	3,03	22,26	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,80	16% Ae	19,18	2,63	21,80	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,35	16% Ae	19,01	3,34	22,35	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,16	16% Ae	18,83	3,33	22,16	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,00	16% Ae	18,65	3,35	22,00	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,69	16% Ae	18,31	3,38	21,69	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,44	16% Ae	18,03	3,42	21,44	0,00	0,00	0	0
		96.073,90	13.717,16		10.950,97	2.758,60	13.709,57	1.362,61	95.592,70	32	26

Quadro 3.25 – Poupanças de Junho

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
30-Jun 13:00	25,90	19,30	1231,00	140,40	0,00	1371,40	140,40	19,15	3,51	1371,40
30-Jun 14:00	26,50	19,40	1236,00	132,00	0,00	1368,00	132,00	19,23	3,30	1368,00
30-Jun 15:00	26,40	19,60	1242,40	127,30	0,00	1369,70	127,30	19,33	3,18	1369,70
30-Jun 16:00	26,10	19,50	1239,30	123,30	0,00	1362,60	123,30	19,28	3,08	1362,60
30-Jun 17:00	25,60	19,40	1236,30	121,00	0,00	1357,30	121,00	19,23	3,03	1357,30
30-Jun 18:00	24,90	19,20	1232,70	105,10	0,00	1337,80	105,10	19,18	2,63	1337,80
30-Jun 19:00	24,10	19,00	1222,30	133,60	0,00	1355,90	133,60	19,01	3,34	1355,90
30-Jun 20:00	23,10	18,70	1210,80	133,20	0,00	1344,00	133,20	18,83	3,33	1344,00
30-Jun 21:00	22,10	18,40	1199,20	133,90	0,00	1333,10	133,90	18,65	3,35	1333,10
30-Jun 22:00	20,90	17,80	1177,00	135,10	0,00	1312,10	135,10	18,31	3,38	1312,10
30-Jun 23:00	19,80	17,30	1158,90	136,70	0,00	1295,60	136,70	18,03	3,42	1295,60
Total								12.642,84	2.429,33	909.927,50

Quadro 3.26 – Exemplo dos consumos de Julho (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref + Econ.	€ Aq + Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	22,47	16% Ae	18,93	3,54	22,47	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,35	16% Ae	18,99	3,37	22,35	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,29	16% Ae	19,04	3,25	22,29	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,27	16% Ae	19,10	3,16	22,27	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,99	16% Ae	19,27	2,72	21,99	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,57	16% Ae	19,13	3,45	22,57	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,17	16% Ae	19,01	3,16	22,17	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,84	16% Ae	18,91	2,93	21,84	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,25	16% Ae	18,77	3,48	22,25	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,04	16% Ae	18,54	3,50	22,04	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,76	16% Ae	18,22	3,54	21,76	0,00	0,00	0	0
		25.958,60	16.272,17		13.644,28	2.622,68	16.266,96	344,24	25.640,30	4	4

Quadro 3.27 – Poupanças de Julho

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
31-Ago 13:00	24,10	19,80	1263,40	151,20	0,00	1414,60	151,20	19,65	3,78	1414,60
31-Ago 14:00	24,60	20,00	1271,20	137,70	0,00	1408,90	137,70	19,77	3,44	1408,90
31-Ago 15:00	24,50	19,50	1248,40	150,70	0,00	1399,10	150,70	19,42	3,77	1399,10
31-Ago 16:00	24,20	19,80	1264,10	135,50	0,00	1399,60	135,50	19,66	3,39	1399,60
31-Ago 17:00	23,90	19,80	1262,80	158,70	0,00	1421,50	158,70	19,64	3,97	1421,50
31-Ago 18:00	23,30	19,50	1249,90	156,70	0,00	1406,60	156,70	19,44	3,92	1406,60
31-Ago 19:00	22,70	19,30	1240,80	156,30	0,00	1397,10	156,30	19,30	3,91	1397,10
31-Ago 20:00	21,90	19,00	1228,30	156,80	0,00	1385,10	156,80	19,11	3,92	1385,10
31-Ago 21:00	21,10	18,50	1210,80	140,60	0,00	1351,40	140,60	18,83	3,52	1351,40
31-Ago 22:00	20,30	18,20	1196,90	170,90	0,00	1367,80	170,90	18,62	4,27	1367,80
31-Ago 23:00	19,40	17,70	1180,60	158,50	0,00	1339,10	158,50	18,36	3,96	1339,10
Total								14.162,96	2.571,29	1.013.327,40

Quadro 3.28 – Exemplo dos consumos de Agosto (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref +Econ.	€ Aq +Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	23,43	16% Ae	19,65	3,78	23,43	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,22	16% Ae	19,77	3,44	23,22	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,19	16% Ae	19,42	3,77	23,19	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,05	16% Ae	19,66	3,39	23,05	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,61	16% Ae	19,64	3,97	23,61	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,36	16% Ae	19,44	3,92	23,36	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,21	16% Ae	19,30	3,91	23,21	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	23,03	16% Ae	19,11	3,92	23,03	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,35	16% Ae	18,83	3,52	22,35	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,89	16% Ae	18,62	4,27	22,89	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	22,33	16% Ae	18,36	3,96	22,33	0,00	0,00	0	0
		27.173,20	16.387,14		13.648,98	2.733,27	16.382,25	352,00	26.562,20	3	3

Quadro 3.29 – Poupanças de Agosto

Dias (hora a hora)	Tbs [°C]	Tbh [°C]	16% Ae (mínimo≈40.000m³/h) [kW]							
			Pot. Arref.	Pot. Aquec.	Pot. Humid.	Σ kW	Aq.+ Hum.	€ Arref.	€ Aq.	kWh Térmicos Consumidos
30-Set 13:00	28,80	21,90	1277,20	87,20	0,00	1364,40	87,20	19,87	2,18	1364,40
30-Set 14:00	29,40	22,00	1281,90	80,40	0,00	1362,30	80,40	19,94	2,01	1362,30
30-Set 15:00	29,30	21,90	1280,20	60,40	0,00	1340,60	60,40	19,91	1,51	1340,60
30-Set 16:00	29,00	21,90	1272,50	86,10	0,00	1358,60	86,10	19,79	2,15	1358,60
30-Set 17:00	28,40	21,60	1259,70	81,00	0,00	1340,70	81,00	19,60	2,03	1340,70
30-Set 18:00	27,70	21,50	1257,90	81,20	0,00	1339,10	81,20	19,57	2,03	1339,10
30-Set 19:00	26,90	21,10	1242,50	82,60	0,00	1325,10	82,60	19,33	2,07	1325,10
30-Set 20:00	25,80	20,80	1229,60	84,10	0,00	1313,70	84,10	19,13	2,10	1313,70
30-Set 21:00	24,70	20,30	1208,30	85,40	0,00	1293,70	85,40	18,80	2,14	1293,70
30-Set 22:00	23,60	19,80	1189,50	87,40	0,00	1276,90	87,40	18,50	2,19	1276,90
30-Set 23:00	22,40	19,30	1172,00	74,40	0,00	1246,40	74,40	18,23	1,86	1246,40
Total								12.455,70	1.754,04	870.885,40

Quadro 3.30 – Exemplo dos consumos de Setembro (consultar anexo F)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				AVALIAÇÃO ECONÓMICA						Horas de Poupança do Chiller	
Opção + Econ.	Δ kW: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	€ Total Gastos	Opção + Econ.	€ Arref + Econ.	€ Aq + Econ.	€ Total Gastos	Δ €: Real e Econ.	kWh Térmicos Poupanços	Opção Energética	Opção Económica
16% Ae	0,00	0,00	22,05	16% Ae	19,87	2,18	22,05	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,95	16% Ae	19,94	2,01	21,95	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,42	16% Ae	19,91	1,51	21,42	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,95	16% Ae	19,79	2,15	21,95	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,62	16% Ae	19,60	2,03	21,62	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,60	16% Ae	19,57	2,03	21,60	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,39	16% Ae	19,33	2,07	21,39	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	21,23	16% Ae	19,13	2,10	21,23	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	20,93	16% Ae	18,80	2,14	20,93	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	20,69	16% Ae	18,50	2,19	20,69	0,00	0,00	0	0
16% Ae	0,00	0,00	20,09	16% Ae	18,23	1,86	20,09	0,00	0,00	0	0
		27.199,00	13.974,44		11.810,70	2.144,44	13.955,14	254,60	25.848,20	0	0

Quadro 3.31 – Poupanças de Setembro

3.4 Resultados Globais

Como podemos observar no quadro 3.32 referente às condições atuais em que se encontra o sistema de climatização, com os registos do ar novo fixos a permitirem a mistura de 40.000m³/h dos 252.000m³/h totais possíveis, os consumos totais são de 9 TWth/ano com um custo associado de 147.300€/ano em que a maior fatia de 128.800€/ano é com arrefecimento e os 18.500€/ano restantes com aquecimento.

	Condições atuais (16% An)			
	kWh th gasto	€ Arref.gasto	€ Aq.gasto	€ Total gasto
jan	559.715,30	8.222,66	777,90	9.000,55
fev	517.366,60	7.694,27	568,37	8.262,64
mar	635.785,80	9.287,62	968,11	10.255,73
abr	653.068,40	9.505,48	1.050,05	10.555,53
mai	782.500,40	11.111,70	1.704,42	12.816,12
jun	909.927,50	12.642,84	2.429,33	15.072,18
jul	1.007.680,00	14.133,08	2.478,12	16.611,20
ago	1.013.327,40	14.162,96	2.571,29	16.734,25
set	870.885,40	12.455,70	1.754,04	14.209,74
out	862.977,80	11.876,84	2.486,67	14.363,51
nov	640.304,70	9.264,06	1.118,96	10.383,01
dez	571.289,40	8.489,95	637,67	9.127,62
Total	9.024.828,70	128.847,16	18.544,92	147.392,08

Quadro 3.32 - Resultados totais das Condições atuais, com 16% de ar novo

No quadro 3.33, o posicionamento dos registos do ar novo ao longo do ano é feito tendo em conta a maximização da poupança de energia o que origina uma quebra no consumo total anual para os 6.1 TWth/ano, uma poupança de 31%, com um custo associado de 108.400€/ano. No quadro 3.34 está representado os totais do modo de funcionamento do registos de ar novo com foco na diminuição dos custos de energia, com um valor de 108.100€/ano em que 75.600€ é gasto com arrefecimento e os restantes 32.500€ com aquecimento. Uma poupança total de 40.000€/ano, ou seja, menos 26% que as condições atuais.

	Modo Poupança de Energia		
	kWh th poupados	€ Total gasto	% kWh th poupados
jan	376.877,20	4.250,47	-67,33%
fev	360.692,00	3.419,85	-69,72%
mar	356.271,20	5.640,20	-56,04%
abr	324.911,60	6.229,42	-49,75%
mai	270.055,40	9.007,11	-34,51%
jun	96.073,90	13.717,16	-10,56%
jul	25.958,60	16.272,17	-2,58%
ago	27.173,20	16.387,14	-2,68%
set	27.199,00	13.974,44	-3,12%
out	220.228,40	11.179,64	-25,52%
nov	382.910,10	4.823,43	-59,80%
dez	412.462,90	3.526,35	-72,20%
Total	2.880.813,50	108.427,38	-31,92%

Quadro 3.33 - Resultados totais do Modo Poupança de Energia

	Modo Poupança Económica					
	kWh th poupados	€ Arref.gasto	€ Aq.gasto	Δ €: Real e Econ.	€ Total gasto	% € Poupados
jan	375.170,30	664,55	3.545,60	4.790,41	4.210,15	-53,22%
fev	359.081,20	931,04	2.460,83	4.870,78	3.391,86	-58,95%
mar	353.211,70	2.412,27	3.187,49	4.655,97	5.599,76	-45,40%
abr	320.871,00	3.532,57	2.627,59	4.395,37	6.160,16	-41,64%
mai	269.019,30	6.335,16	2.655,52	3.825,44	8.990,68	-29,85%
jun	95.592,70	10.950,97	2.758,60	1.362,61	13.709,57	-9,04%
jul	25.640,30	13.644,28	2.622,68	344,24	16.266,96	-2,07%
ago	26.562,20	13.648,98	2.733,27	352,00	16.382,25	-2,10%
set	25.848,20	11.810,70	2.144,44	254,60	13.955,14	-1,79%
out	219.265,70	8.115,60	3.049,88	3.198,03	11.165,48	-22,26%
nov	381.848,80	2.735,77	2.064,62	5.582,62	4.800,39	-53,77%
dez	410.809,30	850,16	2.645,68	5.631,79	3.495,84	-61,70%
Total	2.862.920,70	75.632,06	32.496,17	39.263,85	108.128,23	-26,64%

Quadro 3.34 - Resultados totais do Modo Poupança Económica

	Horas Poupança do Chiller	
	Opção energética	Opção económica
jan	277	196
fev	227	155
mar	195	143
abr	152	111
mai	111	94
jun	32	26
jul	4	4
ago	3	3
set	0	0
out	98	76
nov	225	176
dez	265	193
Total	1.589	1.177

Quadro 3.35 - Resultados totais das Horas de Poupança de funcionamento do Chiller

Por fim o quadro 3.35 faz referência às horas em que o chiller está desligado em cada um dos modos de utilização. São períodos de paragem do equipamento com todos os benefícios associados de 1.589 horas no modo de poupança energética, 2 meses por ano (aproximadamente), e 1.177 horas no modo de poupança económica.

CAPITULO 4 – CONCLUSÕES

A primeira conclusão que sobressai deste estudo prende-se com a eficácia do free cooling nesta instalação. Na realidade, em qualquer dos modos a poupança existe e é significativa. Se na perspetiva económica, nos quatro meses mais quentes as poupanças não passam dos 10%, em contrapartida, durante os seis meses mais frios a redução é praticamente de 50% por cada mês. Mesmo tendo em conta que as maiores poupanças são nos meses de menor consumo, no global anual a redução é de 26%, o que se traduz em praticamente 40.000€/ano.

No modo de poupança energética os resultados são semelhantes mas com percentagens mais elevadas, havendo meses em que se atingem reduções de 70%. No total, a redução do consumo de energia térmica é de 32% e corresponde a praticamente 2,9 TWth. Outro fator diferenciador do sistema atual para qualquer dos modos de funcionamento apresentados é o facto de atualmente o sistema utilizar 87% dos custos com arrefecimento e 13% com aquecimento para condicionar o ar, e com a utilização do free cooling passam para 70% com arrefecimento e 30% com aquecimento. Existe um equilíbrio maior entre o aquecimento/arrefecimento e um alívio na utilização do chiller e das baterias de arrefecimento importante para a sua durabilidade.

Se considerarmos este processo como possível em outras instalações, semelhantes a esta, existentes na empresa, é facilmente perceptível a potencialidade de poupança existente na organização com valores muito significativos.

Ao analisarmos as condições de funcionamento atuais verifica-se que estamos a arrefecer sistematicamente, aproximadamente 80% do caudal máximo do sistema, ar de retorno, com o chiller, uma vez que o ar de retorno a 23°C tem sempre necessariamente de ser arrefecido para ser insuflado novamente, tendo em conta que as cargas térmicas internas são elevadas e constantes e por outro lado independentemente das condições climatéricas exteriores, 16% de ar novo na caixa de mistura terá um impacto relativamente pequeno no arrefecimento do ar de retorno. Nestas condições, grande parte do ano, o sistema de climatização incorre no cenário de estar a arrefecer o ar com o chiller, quando no exterior estão temperaturas iguais ou inferiores à temperatura de insuflação disponíveis, que poderiam realizar essa troca térmica de forma gratuita.

Por outro lado este constante aquecer e arrefecer do ar que circula ciclicamente da nave-UTA-nave, tornando-o com uma qualidade muito inferior à que existiria se fosse insuflado maiores percentagens de ar novo, com uma qualidade muito superior.

Cada vez mais a qualidade de ar interior é um fator de significativa importância nos espaços, porque cada vez existem mais estudos que comprovam uma relação direta com o estado anímico dos ocupantes.

Ao utilizarmos este estudo para definir qual dos modos a aplicar no nosso sistema, observarmos que os resultados de ambos registam poupanças, no entanto entre eles essas poupanças não diferem muito. No modo de energia, como o próprio nome indica a poupança de energia é superior à do modo económico em 17.9 MWth, cerca de 0.3% do consumo total anual do sistema. Na poupança de custos o modo de poupança económico tem 300€ a mais de poupança que o modo de poupança de energia, também aqui um valor irrisório de 0.28% em relação aos custos totais anuais. No entanto em relação às horas de poupança do chiller essa diferença intensifica-se com mais 412 horas no modo de eficiência energética. Este poderá ser um fator de peso na hora de definir qual o modo a utilizar, uma vez que, horas de poupança do chiller traduz-se em menor número de manutenções e aumento do seu tempo de vida, fatores fundamentais neste tipo de equipamento muito dispendioso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referência de Livros

Roriz, Luis (2007). Climatização – Conceção, Instalação e Condução de Sistemas. Edições Orion, 2ª Edição, Portugal.

Silva, Hélder (2015). Ambiente Térmico e Ventilação – Avaliações Práticas e Controlo. Edições Sílabo, 1ª Edição, Portugal.

Monteiro, Victor (2015). Refrigeração I – Técnicas e Competências Ambientais. Edições Técnicas e Profissionais, 1ª Edição, Portugal.

Santos, Carlos e Matias, Luís (2011). Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Edição LNEC, 18ª Edição, Portugal.

Referência de Legislação

Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto – Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

Referência de Tese/Dissertação

Cruz, Miguel (2013). Otimização de um Sistema de “Free-Cooling” de uma Instalação de Climatização. Incluindo a definição de um algoritmo de controlo de funcionamento. Trabalho Final de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

Referência de Manuais

Honeywell, (2011). Air Handling System Control Applications – Section of engineering manual of automatic control (pp.77-1100). Revisão 1-98.

Referência de Relatório Técnico

ASHRAE STANDARD - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, EUA, SI Edition (2004).

Marinho, José e Marinho, Nuno (2014). Relatório de Instalações Mecânicas de Climatização e Ventilação da Central 97-25-201, Porto.

Marinho, José (2015). Projeto de Requalificação das Centrais de Climatização e Distribuição de Ar FL1, FL2, FL3 e FL4 (2ª Fase), Porto.

Marinho, José (2015). Projeto de Ventilação da Sala de Bombas de Vácuo das FL3 e FL4, Porto.

Silva, Cruz (2015). Melhorias das Instalações AVAC – Nave das Folios, Figueira da Foz.

Referência de Sítio da Internet

<http://people.eng.unimelb.edu.au/mpeel/koppen.html> (acedido em Janeiro de 2018)

<http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> (acedido em Janeiro de 2018)

<https://pt.slideshare.net/CaetanoJoseMaria/cr-psicrometria20125-ablogar> (acedido em Janeiro de 2018)

https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt (acedido em Dezembro de 2017)

<https://www.adene.pt/industria/> (acedido em Dezembro de 2017)

ANEXOS

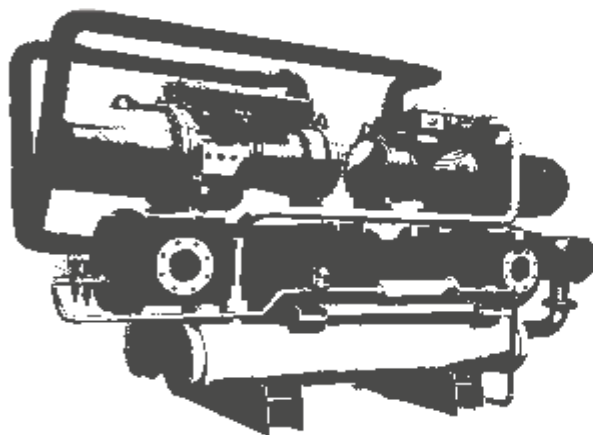
ANEXO A – Manual de Instalação e Manutenção do Chiller



Manual de instalação e manutenção
DOC.: MIM-WS-151016.Rev01

Chillers água-água, compressores de parafuso.

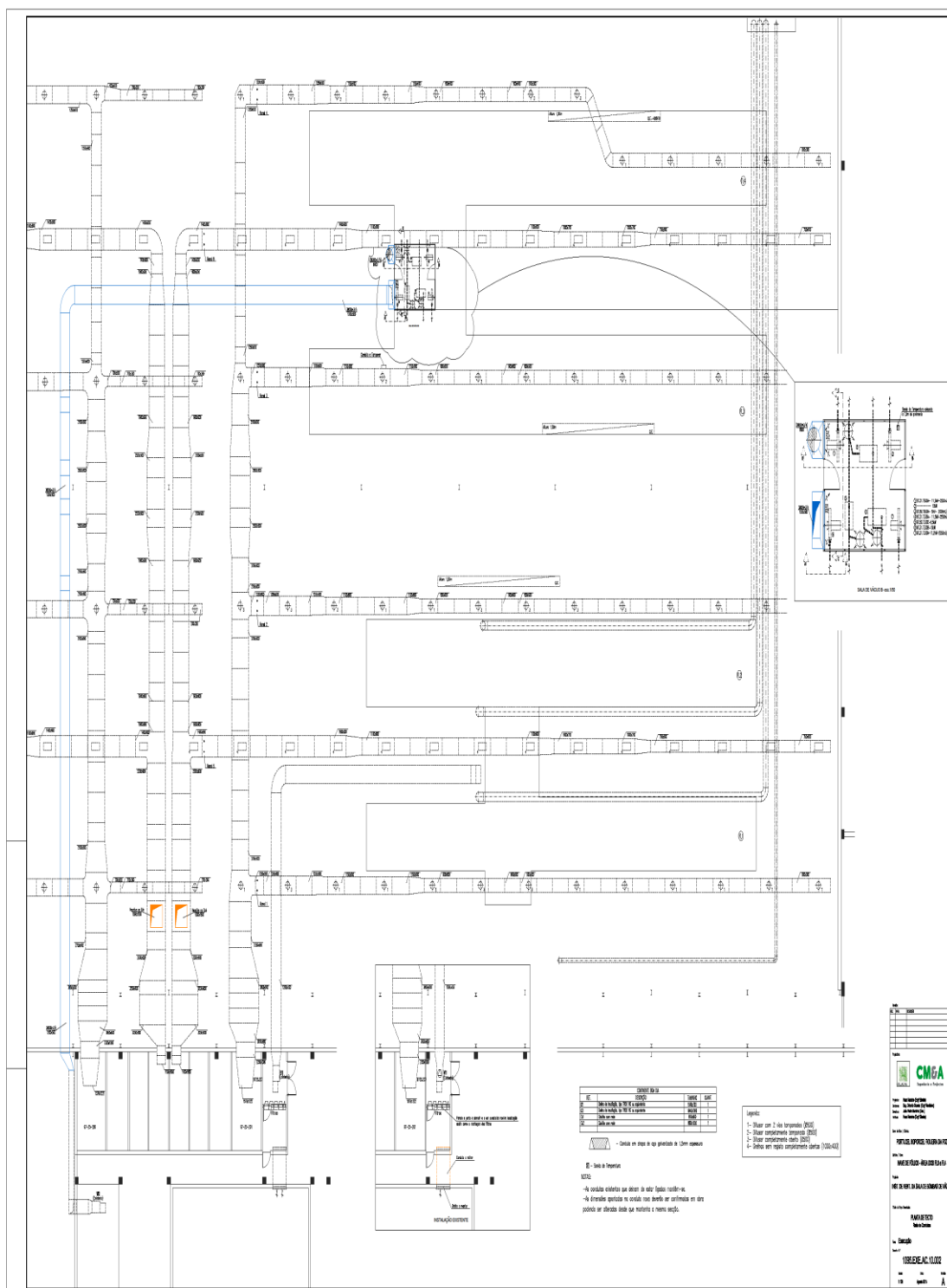
WALPHA SPAR 2000/2300/2900/3500/4000/4500/5000/6000/6500/7500/9100/12000/13000



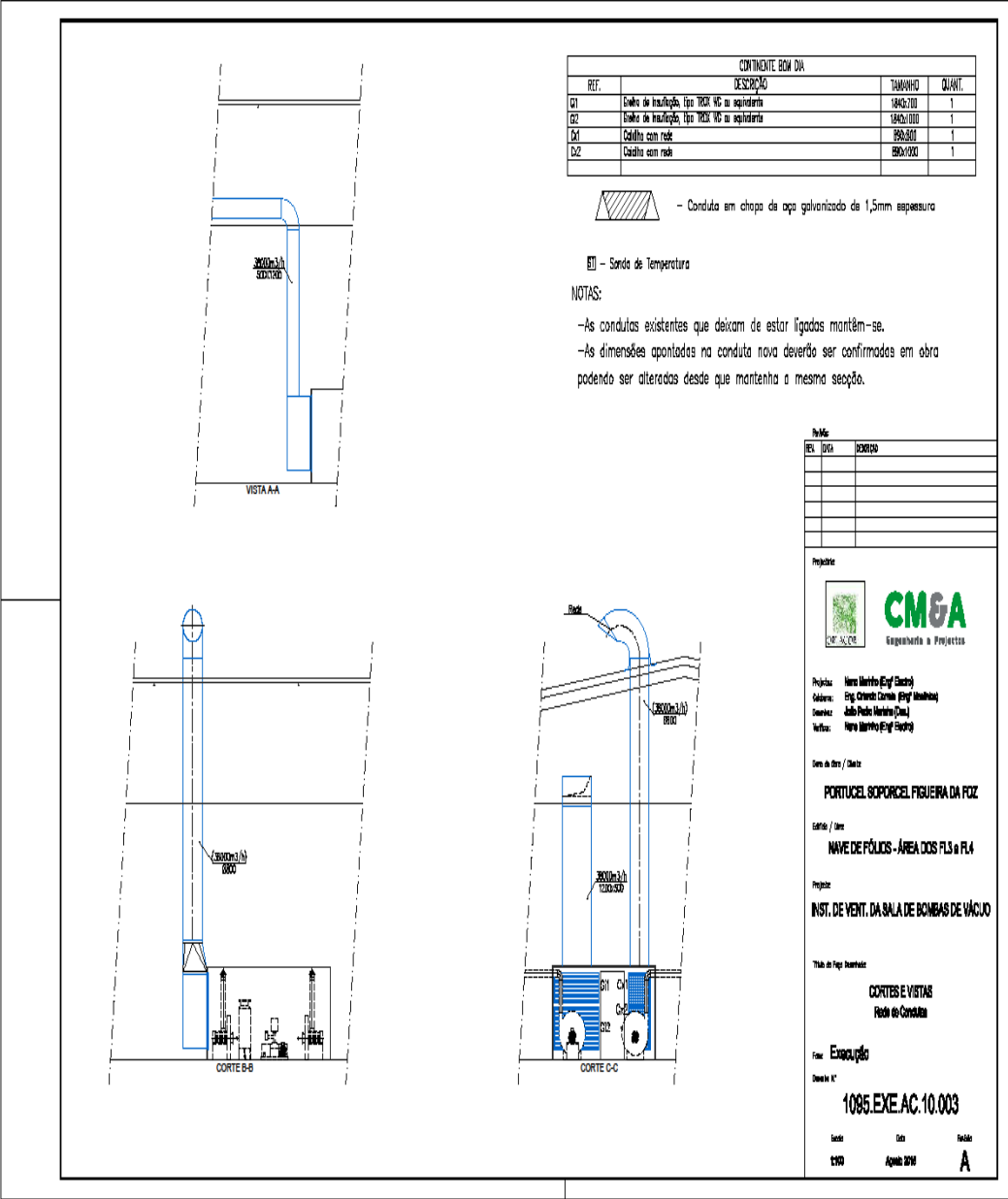
SIRE - Sociedade Industrial de Refrigeração, Lda.
Rua das Pexinas nº 16
2430-060 Marinha Grande
Leiria
Portugal



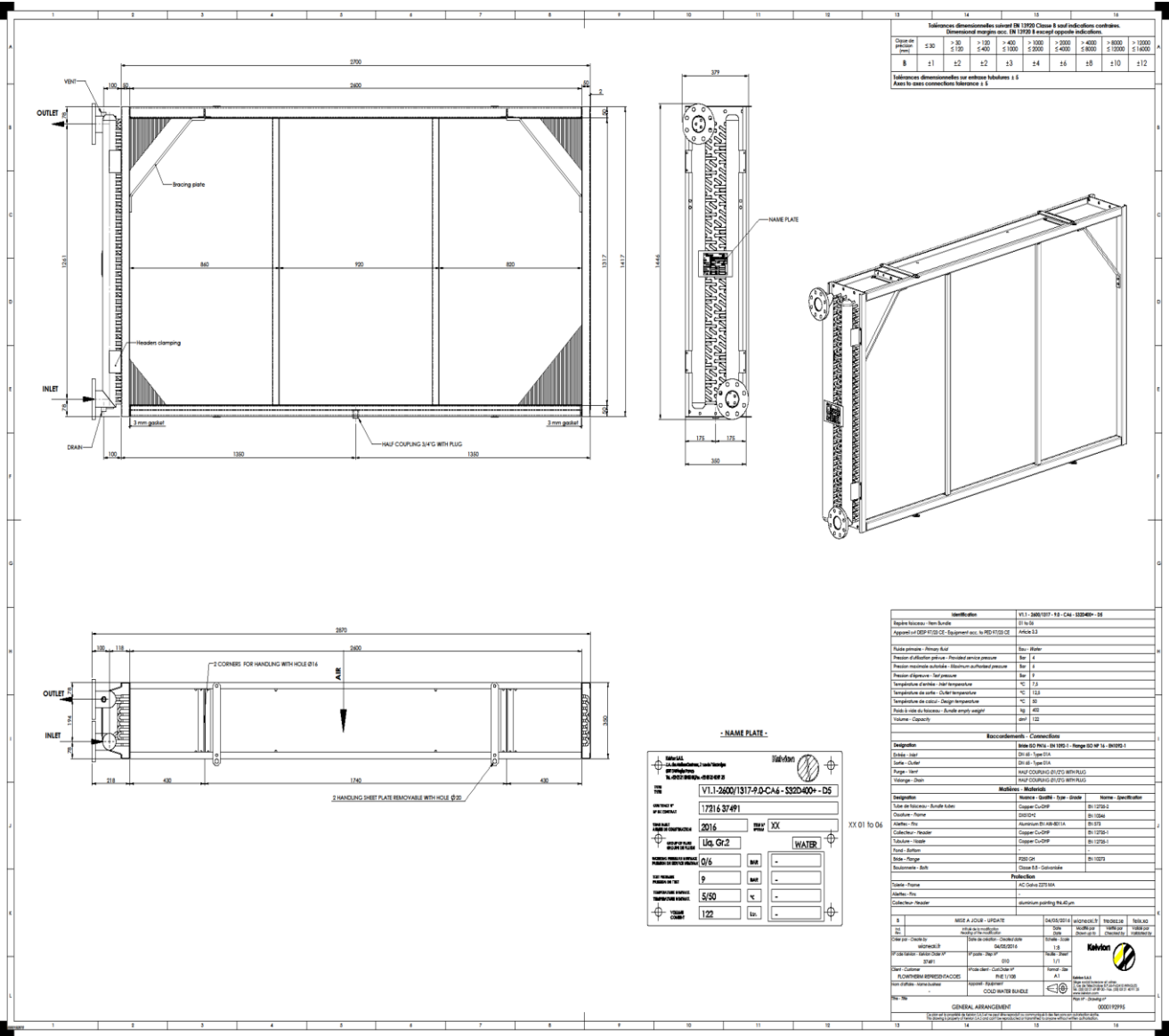
ANEXO B – Planta da nova rede aerólica da sala de vácuo da FL3 e FL4



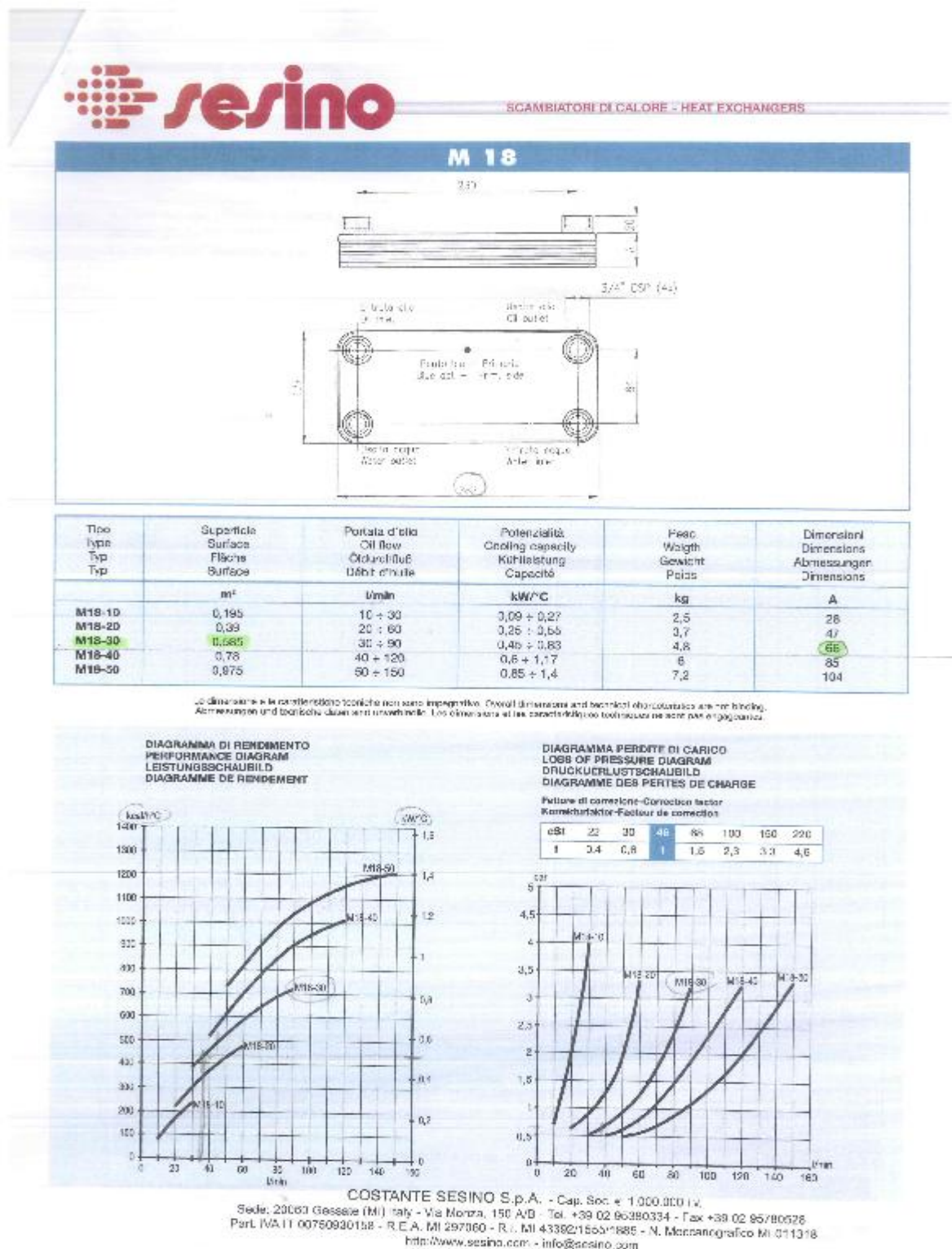
ANEXO C – Corte para o exterior da nova rede aerólica da FL3 e FL4



ANEXO D – Baterias de arrefecimento



ANEXO E – Permutadores de calor dos backstands da FL3 e FL4



ANEXO F – Ficheiro Excel com os cálculos anuais



Ficheiro disponível em formato digital